



Bundesamt  
für Bevölkerungsschutz  
und Katastrophenhilfe



# Proceedings: Biologische Gefahren in Deutschland

Kongressbericht der  
GERMAN BIOSAFETY 2005



6



FORSCHUNG IM BEVÖLKERUNGSSCHUTZ



# **Proceedings: Biologische Gefahren in Deutschland**

FORSCHUNG IM  
BEVÖLKERUNGSSCHUTZ  
BAND 6





Bundesamt  
für Bevölkerungsschutz  
und Katastrophenhilfe



# **Proceedings: Biologische Gefahren in Deutschland**

**Kongressbericht der  
GERMAN BIOSAFETY 2005**

**6**



**Herausgeber:**

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe

Postfach 18 67, 53008 Bonn

Fon: 0228 . 99 550-0, – 0, Fax: 0 228 . 99 550-1620, [www.bbk.bund.de](http://www.bbk.bund.de)

**Verantwortlich für den Inhalt:**

Dr. Norbert Bannert · Dr. Anne Becker · Dr. Walter Biederbick · Dr. Andreas Bräutigam · Albrecht Broemme · Nahid Derakshani · Petra Dickmann · Prof. Dr. Wolf R. Dombrowsky · Dr. Brigitte Dorner · Dr. Walter Gaber · Dr. Frank Gessler · Dr. Karl Jochen Glitz · Priv.- Doz. Dr. Dr. René Gottschalk · Priv.- Doz. Dr. Roland Grunow · Dr. Wolfgang Guggemos · Dr. Monika Hermann · Prof. Dr. Dr. Dieter Leyk · Dr. Willy Marzi · Dr. Wolfgang Müller · Dr. Herbert Nattermann · Dr. Bärbel Niederwöhrmeier · Dr. Andreas Nitsche · Prof. Dr. Georg Pauli · Dr. Bernhard Preuss · Dr. Klaus Riedmann · Alfred Rieper-tinger · Dr. Heiko Russmann · Dr. Julia Sasse · Jürgen Schreiber · Uwe Seidel · Rainer Steffens · Reinhard Steffler · Christian Steiof · Dipl.-Ing. Hans-Ulrich Tobs · Dr. Christine Uhlenhaut · Christoph Unger · Hans-Peter Weinheimer · Dipl.- Ing. Rainer Wenke · Priv.-Doz. Dr. Manfred Wildner

© 2011 Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe – Bonn

ISBN: 978-3-939347-05-7

Der vorliegende Band stellt die Meinung der Autoren dar und spiegelt nicht grundsätzlich die Meinung des Herausgebers.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist nur in den Grenzen des geltenden Urheberrechtsgesetzes erlaubt. Zitate sind bei vollständigem Quellenverweis jedoch ausdrücklich erwünscht.

Dieses Werk darf ausschließlich kostenlos abgegeben werden. Weitere Exemplare

dieses Buches oder anderer Publikationen des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe können Sie gerne beim Herausgeber kostenfrei anfordern.

**Gestaltung, Layout und Satz:**

pensiero KG, Gleimstraße 44  
10437 Berlin, [www.pensiero.eu](http://www.pensiero.eu)

**Druck:** MedienHaus Plump GmbH

Rolandsecker Weg 33  
53619 Rheinbreitbach, [www.plump.de](http://www.plump.de)

# Inhalt

	<b>Einleitung</b>	
	<i>Walter Biederbick · Petra Dickmann</i>	
	<i>Bernhard Preuss · Julia Sasse</i> .....	<b>11</b>
<b>1</b>	<b>Management, Öffentliche Ordnung und Risikokommunikation</b> .....	<b>19</b>
1.1	Einleitung	
	<i>Petra Dickmann</i> .....	21
1.2	Das BBK – Partner von Ländern und Kommunen im Bevölkerungsschutz	
	<i>Christoph Unger</i> .....	23
1.3	Möglichkeiten und Grenzen der Unterstützung durch die Bundeswehr bei biologischen Gefahrenlagen	
	<i>Hans-Peter Weinheimer</i> .....	35
1.4	Einbindung des ÖGD in den Katastrophenschutz	
	<i>Wolfgang Müller</i> .....	51
1.5	Die Ständige Arbeitsgemeinschaft der Kompetenz- und Behandlungszentren	
	<i>René Gottschalk</i> .....	61
1.6	Infektionskrankheiten im Rahmen der Globalisierung	
	<i>Walter Gaber</i> .....	79
1.7	Vorbereitung auf eine biologische Großschadenlage: Der Pockenrahmenplan	
	<i>Klaus Riedmann · Julia Sasse</i> .....	93
1.8	Szenarien biologischer Gefahrenlagen – Eskalationsstufen der Risikokommunikation	
	<i>Petra Dickman · Wolf Dombrowsky · Manfred Wildner</i> .....	115

<b>2</b>	<b>Probennahme</b> .....	<b>125</b>
2.1	Einleitung: Anforderungen biologischer Gefahrenlagen an die koordinierte Zusammenarbeit von First Respondern zur Sicherung einer effizienten Gefahrenabwehr <i>Nahid Derakshani</i> .....	127
2.2	Das Vorgehen der Berliner Polizei bei möglichen bioterroristischen Anschlägen <i>Christian Steiof</i> .....	129
2.3	Maßnahmen der Feuerwehr und anderer Einsatzkräfte bei Einsätzen mit Gefahren durch B-Gefahrstoffe <i>Albrecht Broemme</i> .....	137
<b>3</b>	<b>Persönliche Schutzausrüstung</b> .....	<b>147</b>
3.1	Einleitung <i>Willy Marzi · Bernhard Preuss</i> .....	149
3.2	Körperschutzsysteme gegen biologische Gefahren <i>Rainer Steffens</i> .....	153
3.3	Wärmebelastung in Schutzbekleidung begrenzt die Tragezeit <i>Karl Jochen Glitz · Uwe Seibel · Dieter Leyk</i> .....	169
3.4	Persönliche Schutzausrüstung zur Behandlung von Patienten mit hochkontagiösen Erkrankungen <i>Wolfgang Guggemos</i> .....	181
3.5	Schützt medizinischer Mund-Nasen-Schutz auch den Behandler? <i>Hans-Ulrich Tobys</i> .....	197
3.6	Schulungen im Bereich Persönlicher Schutzausstattung am Beispiel des ABC- Curriculums <i>Jürgen Schreiber</i> .....	215



<b>4</b>	<b>Dekontamination</b> .....	<b>225</b>
4.1	Einleitung: Die Dekontamination als Teil der Gefahrenabwehr; die Dekontamination von Personen, Raum- und Flächendekontamination sowie organisatorische und logistische Aspekte <i>Walter Biederbick</i> .....	227
4.2	Technische und organisatorische Aspekte der Dekontamination <i>Andreas Bräutigam</i> .....	231
4.3	Desinfektion von persönlicher Schutzausrüstung (PSA) der Hilfsorganisationen bei besonderen B-Lagen: Probleme und deren Lösungsmöglichkeiten <i>Reinhard Steffler</i> .....	245
4.4	Verfahren zur Desinfektion von Räumen mit Formaldehyd und anderen Wirkstoffen <i>Bärbel Niederwöhrmeier</i> .....	255
4.5	Wirksame Desinfektionsmittel gegen bakterielle Erreger der Risikogruppe 3 <i>Bernd Appel · Silke Becker · Roland Grunow</i> <i>Daniela Jacob · Silke Klee · Herbert Nattermann</i> .....	261
4.6	Abwehr von ABC-Gefahren - Dekontamination von Verletzten nach einem Massenanfall von Verletzten bei einem C-Schadensereignis <i>Bernd Domres · Andreas Manger · Stefan Brockmann</i> <i>Rainer Wenke · Yasar Demirdag · Thomas Hädinger †</i> <i>Eckhard Helms · Mike Kay · Michael Koch · Klaus Oesten</i> <i>Mesut Özeke · Timo Rieg · Ulrich Schwill</i> <i>Wolfram Auch · Rolf Schwarz · Markus Appenzeller</i> <i>Eberhard Beck · Hans Fischer</i> .....	277
4.7	Versorgung, Ausschleusung, Transport und Bestattung von hoch kontagiösen Verstorbenen <i>Alfred Riepertinger</i> .....	301
4.8	Tenazität: Die „natürliche Dekontamination“ von Bakterien und Toxinen <i>Petra Dickmann</i> .....	321
4.9	Tenazität von Viren – Stabilität und Erhalt der Infektiosität von Viren <i>Christine Uhlenhaut</i> .....	333

<b>5</b>	<b>Detektion</b> .....	<b>343</b>
5.1	Einleitung <i>Monika Hermann · Julia Sasse</i> .....	345
5.2	Detektion von bioterroristisch relevanten Erregern im stationären Labor: Vorgehen bei klinischen und Umweltproben <i>Georg Pauli</i> .....	349
5.3	Detektion von bioterroristisch relevanten Toxinen am Beispiel Rizin <i>Brigitte G. Dorner</i> .....	363
5.4	Elektronenmikroskopische Erregerdiagnostik bei vermuteten bioterroristischen Anschlägen <i>Norbert Bannert · Hans R. Gelderblom</i> <i>Michael Laue · Muhsin Özel</i> .....	369
5.5	Stellenwert der Real-Time-PCR in der BT-Erregerdiagnostik <i>Andreas Nitsche</i> .....	379
5.6	Erfahrungen bei der Evaluierung von ABICAP® – Hand-Held-Testkits zum Nachweis von <i>Francisella tularensis</i> und Ebolavirus <i>Roland Grunow · Andreas Lucht</i> <i>Mustafa Porsch-Özcürümez</i> .....	397
5.7	Immunologischer Schnellnachweis von B-Agenzien mit Mikropartikeln – BioVeris-System <i>Bärbel Niederwöhrmeier</i> .....	409
5.8	Lateral Flow Assays zum Nachweis von Botulinum-Neurotoxinen <i>Frank Gessler · Sibylle Pagel-Wieder · Helge Böhnel</i> .....	415
5.9	Möglichkeiten und Grenzen des Vor-Ort-Nachweises von biologischen Kampfstoffen <i>Heiko Russmann</i> .....	431

<b>6</b>	<b>Aviäre Influenza</b> .....	<b>439</b>
6.1	Einleitung <i>Petra Dickmann</i> .....	441
6.2	Vogelgrippe – Verbote einer Influenzapandemie? <i>Christine Uhlenhaut</i> .....	443
6.3	Infektionen durch H5N1 beim Menschen – Ausnahmen oder Verbote einer Pandemie? <i>Anne Becker</i> .....	459
	<b>Anhang</b> .....	<b>475</b>
	Abbildungen, Tabellen und Übersichten .....	477
	Abkürzungen .....	485
	Autoren .....	491
	Bisherige Publikationen .....	497



# Einleitung

*Petra Dickmann · Julia Sasse*

*Bernhard Preuss · Walter Biederbick*



Die Ausbreitung der Vogelgrippe im Sommer 2005 von Südostasien aus, aber auch der Umgang mit der Infektionskrankheit SARS im März 2003 haben die Bedeutung des Krisenmanagements und der Koordination in biologischen Lagen ins öffentliche Bewusstsein gerückt. Doch sind wir im Jahr 5 nach den „Anthrax-Briefen“ in den USA in Deutschland adäquat vorbereitet? Ist das Wissen und Können so vernetzt, dass biologische Lagen effizient und effektiv bewältigt werden können?

Um dieser Frage nachzugehen, trafen sich im September 2005 zur GERMAN BIOSAFETY die Anwender aus der Praxis und die deutschen Experten aus den Wissenschaften, um in den Bereichen Detektion, Dekontamination und Persönliche Schutzausrüstung einen wichtigen Beitrag im interdisziplinären Umgang mit biologischen Gefährdungen zu liefern.

Die GERMAN BIOSAFETY 2005 fand als wissenschaftliche Konferenz mit angeschlossener Fachmesse vom 13. bis 15. September 2005 in Stuttgart statt. Diese – in Deutschland bisher einmalige – Veranstaltung bot den Raum für Experten aus den Bereichen Wissenschaft, Forschung, Entwicklung und Anwendung miteinander ins Gespräch zu kommen und diesen Dialog fachlich produktiv zu nutzen.

Ursprünglich waren drei Themenschwerpunkte für die Konferenz gesetzt: **Detektion, Dekontamination, Persönliche Schutzausrüstung**, die aber in der Planungsphase noch eine Erweiterung erfahren haben: so wurde auf die grundlegende Bedeutung eines effizienten **Managements von Biologischen Gefahrenlagen** reagiert und die Vertreter der beteiligten Institutionen und Diskurse eingeladen. Ebenso wurde die ursprüngliche Konzeption durch einen aktuellen Themenblock zur **Vogelgrippe** erweitert.

Inhaltlich betreut wurde diese Konferenz durch das *Interdisziplinäre Experten-  
netzwerk Biologische Gefahrenlagen*. Veranstalter war das *ProjektTeam Stuttgart*.

Das *Interdisziplinäre Expertennetzwerk Biologische Gefahrenlagen* wurde Mitte 2003 durch eine Projektgruppe am Robert Koch-Institut (RKI) initiiert und durchgeführt und durch das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) finanziell gefördert. Das *Expertennetzwerk Biologische Gefahrenlagen* ist ein Verbund von Expertinnen und Experten aus der Praxis mit Wissenschaftlern der entsprechenden Disziplinen, die zu relevanten Themen der Prävention und des Management biologischer Gefährdung mit dem Ziel zusammenarbeiten, Bevölkerungsschutz, Infektionsprophylaxe und Krisenmanagement organisatorisch und inhaltlich zu verknüpfen. Zentrales Anliegen in diesem Projekt ist der Gedanke der Vernetzung von Experten und Expertisen. Insbesondere in Biologischen Gefahrenlagen ist es wichtig, flexibel und aktuell zu speziellen Sachfragen adäquat Stellung nehmen und reagieren zu können. Durch die Verknüpfung von Expertisen in dem Netzwerk kann ein effektives und effizientes Zusammenarbeiten verschiedener Behörden und Einrichtungen erleichtert werden. Das Netzwerk kooperiert interinstitutionell mit dem Öffentlichen Gesundheitsdienst (ÖGD), Bund, Ländern und Kommunen, Hilfsorganisationen, Polizei, Feuerwehr, Kliniken, Laboratorien und den Mitarbeitenden aus Forschung und Entwicklung.

Die Vernetzung findet im Rahmen des *Interdisziplinären Expertennetzwerkes* auf zwei Ebenen statt: zum einen in der Facharbeit in Arbeitsgruppen; zum anderen auf einer webbasierten Kommunikationsplattform mit einem geschützten Forenbereich.

Gegenwärtig arbeitet das Expertennetzwerk in fünf Arbeitsgruppen: AG Lagerkundung und Detektion, AG Schutzausrüstung und Dekontamination, AG Einsatzgrundsätze, Öffentliche Ordnung und Logistik, AG Risikokommunikation sowie AG Medizinische Versorgung.

Die Ergebnisse der Arbeitsgruppen können in Positionspapieren nachgelesen werden; außerdem gibt das Expertennetzwerk das Handbuch *Biologische Gefahren – Beiträge zum Bevölkerungsschutz* heraus ([http://www.bevoelkerungsschutz.de/DE/03\\_\\_Informationsmaterial/01\\_\\_Handb\\_C3\\_BCcher/handbuch\\_\\_node.html?\\_\\_nnn=true](http://www.bevoelkerungsschutz.de/DE/03__Informationsmaterial/01__Handb_C3_BCcher/handbuch__node.html?__nnn=true)), das im Sommer 2007 in der mittlerweile dritten völlig neu überarbeiteten Fassung erscheinen soll.

Der vorliegende Proceedings-Band spiegelt zum einen die enorme thematische Bandbreite und die Komplexität biologischer Gefahren wider: der konkrete



Fall einer unbestimmten biologischen Gefahrenlage verknüpft die Fragen zur Persönlichen Schutzausrüstung („Wie soll ich mich schützen, wenn ich nicht weiß, was mich erwartet?“) mit denen zu den Möglichkeiten einer Detektion („Wie kann ich schnell und sicher erkennen, um was für ein Agens es sich handelt?“), mit denen zu den Bedingungen einer Dekontamination („Wann sind die Erreger mit welchen Mitteln sicher inaktiviert?“) und auch mit denen zu einem konkreten Management von Infektionskrankheiten („Welche Maßnahmen sind von Seiten des Öffentlichen Gesundheitsdienstes zu treffen: Absonderung? Kontaktermittlung etc.?“).

Zum anderen wird hier ein Dialog zwischen den Experten aus der Praxis mit denen aus der Wissenschaft produktiv verbunden. Dadurch erreichen die Proceedings ein hohes wissenschaftliches Niveau zusammen mit einer präzisen Wirklichkeitsbeschreibung, die den Anwendern Hilfe und Orientierung bietet und auch auf die Anforderungen und Fragen aus der Praxis reagieren kann.

Die Fragestellungen und Bearbeitungsweisen von „Praktikern“, wie z. B. den Vertretern der Rettungsdienste und der Feuerwehren, unterscheiden sich von denen der „Theoretiker“, wie z. B. den Wissenschaftlern. Dadurch sind die Proceedings heterogen. Und das ist auch die Stärke dieser Proceedings: die Problematik biologischer Gefährdungen kann nicht allein in einer Disziplin, aus einer Expertise heraus adäquat beantwortet werden. Die GERMAN BIOSAFETY 2005 hat in einem Dialog der Experten ein produktives Miteinander erzeugt, in dem die Fragestellungen der Wissenschaft an die Praxis und die Anforderungen der Praxis an die Wissenschaft und die Industrie adressiert werden konnten. Die Komplexität der Thematik in ihren vielfältigen Anforderungen findet in den Proceedings ihre Entsprechung durch die unterschiedlichen Perspektiven und Lösungsansätzen, die von den führenden Vertretern aus Deutschland im Herbst 2005 gegeben wurden.

Die Proceedings geben einen kompetenten wissenschaftlichen *und* anwendungsnahen Querschnitt der Auseinandersetzung um das Management biologischer Gefahren, der im deutschsprachigen Raum einen Meilenstein gesetzt hat.

### Inhaltliche Gliederung:

- Management biologischer Gefahrenlagen
- Probenahme
- Detektion
- Persönliche Schutzausrüstung
- Dekontamination
- Aviäre Influenza

### Inhaltlicher Aufbau der Proceedings

Im **ersten Kapitel** werden das Management, die Öffentliche Ordnung und die organisatorischen Rahmenbedingungen von Biologischen Gefahrenlagen konzeptionell beleuchtet. Eine zentrale Problematik stellt dabei die Bund-Länder-Verantwortung, die die verschiedenen Zuständigkeiten nicht immer kompatibel zu vernetzen in der Lage ist. Daraus ergeben sich die Notwendigkeit und die Bedeutung von Vorbereitungen, Vernetzung und Übungen, die die verschiedenen Akteure – die alle unterschiedliche Interessen, unterschiedliche Befugnisse, unterschiedliche Ressort- und Kompetenzbereiche haben – beim Management von biologischen Lagen zusammenzuführen. Aus diesem Kaleidoskop von Akteuren bei biologischen Gefahrenlagen werden prominente Vertreter ihre Perspektiven und Vorschläge schildern. Antworten kommen aus den verschiedenen Bereichen von den entsprechenden Partnern: der Bundesebene, der Bundeswehr, des Öffentlichen Gesundheitsdienstes (ÖGD), der Ständigen Arbeitsgemeinschaft der Kompetenz- und Behandlungszentren (StAKoB) als Ländernetzwerk, der Fraport AG als „Anwender“ sowie als Beispiel der Pockenrahmenplan und ein konzeptionelles Vorgehen der Risikokommunikation.

Das **zweite Kapitel** befasst sich mit der Problematik einer unklaren Lage und einer möglichen Kontamination von First Respondern; hier wird die Probenahme aus Sicht der First Responder, also der Polizei und der Feuerwehr, geschildert. Neben organisatorischen Fragestellungen wird auch die Bedeutung einer qualitätssichernden Probenahme beschrieben.

Im **dritten Kapitel** werden die Detektionsmaßnahmen vor Ort und im Labor beschrieben und problematisiert. Die Detektion von bioterroristisch relevanten Agenzien (Bakterien, Viren, Toxine) stellte eines der Schwerpunktthemen der

GERMAN BIOSAFETY dar. In einem Fachforum wurden Stand der Entwicklung verschiedener Nachweisverfahren und Detektionssysteme, aktuelle Fragestellungen sowie zukünftige Anforderungen vorgestellt und näher diskutiert.

Das **vierte Kapitel** ist der Persönlichen Schutzausrüstung gewidmet. In diesem Kapitel erläutern Hersteller und Anwender die zentrale Frage: Wie soll ich mich schützen? An dieser Fragestellung wird offenbar, dass die bisherige Ausrüstung auf die Anforderungen der Industrie mit ihrer Staubbelastung bzw. der chemischen Industrie gerichtet ist. Die zentralen Fragen biologischer Gefährdungen sind in der Persönlichen Schutzausrüstung noch nicht adäquat umgesetzt: so ist die Dichtigkeit des Atemschutzes nicht optimal an eine mögliche Kontamination von Viren und Bakterien ausgerichtet; ebenso wenig sind die Schutzanzüge für Arbeiten zur Dekontamination und erst recht kaum zur Behandlung hochinfektiöser Patienten gedacht. Hier besteht dringender Forschungs- und Entwicklungsbedarf, der von den Autorinnen und Autoren detailliert artikuliert wird.

Im **fünften Kapitel** wird die Diskussion der Dekontamination unter den besonderen Bedingungen der Biologie geführt: bei biologischen Lagen gibt es z. B. Inkubationszeiten, die dazu beitragen, dass Lagen oft gar nicht als solche erkannt werden. Hinzu kommt die Problematik der Mensch-zu-Mensch-Übertragung von Krankheiten. Beide Besonderheiten stellen für das Dekontaminationsmanagement besondere Schwierigkeiten dar

Der Proceedings-Band schließt im **sechsten Kapitel** mit dem aktuellen Thema Aviäre Influenza, das aus einer medizinischen Sicht die diagnostischen und therapeutischen Möglichkeiten diskutiert und aus virologischer Sicht zu einer Einschätzung des pandemischen Potenzials kommt.



# 1

## Management, Öffentliche Ordnung und Risikokommunikation



## 1.1 Einleitung

*Petra Dickmann*

In diesem Kapitel werden das Management, die Öffentliche Ordnung und die organisatorischen Rahmenbedingungen von Biologischen Gefahrenlagen konzeptionell beleuchtet. Den Anfang macht **Christoph Unger** (BBK, Bonn), Präsident des Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK), der den Band mit grundlegenden organisatorischen und institutionellen Wegweisungen eröffnet und Orientierungen gibt in den Zuständigkeiten in Deutschland bei biologische Lagen. In einer besonderen Weise thematisiert er die Aufgaben des BBK, einer oberen Bundesbehörde, die zwischen den föderalen Entscheidungsstrukturen im Gesundheitswesen und des Katastrophenmanagements balancieren und (dabei) effizient und effektiv arbeiten muss.

**Hans-Peter Weinheimer** (Streitkräfteunterstützungskommando, Köln) vertritt die Bundeswehr mit seinen Überlegungen zur ihren jetzigen Aufgaben und den künftigen Feldern. Nachdem in Deutschland der Ruf nach einem Einsatz der Bundeswehr im Inneren laut geworden ist, analysiert Weinheimer kompetent und kenntnisreich, die Fähigkeiten der Bundeswehr und die Möglichkeiten einer Einsetzbarkeit im Inneren aus Sicht der ABC-Abwehrtruppe.

Von einer anderen Seite nähert sich **Wolfgang Müller** (Akademie für Öffentliches Gesundheitswesen, Düsseldorf) der Thematik des Managements von biologischen Lagen: er beschreibt die Aufgaben und Leistungen des Öffentlichen Gesundheitsdienstes, der als Ansprechpartner für die behandelnden Ärzte möglichst erprobte Empfehlungen und Informationen bereitstellen sollte.

**René Gottschalk** (Stadtgesundheitsamt Frankfurt am Main) stellt als Sprecher der Kompetenzzentren die StAKoB vor: die Ständige Arbeitsgemeinschaft der Kompetenz- und Behandlungszentren, die im gewissen Sinne eine Antwort ist auf die globalen Herausforderungen, die man in föderalen Strukturen bewältigen muss. Mit der StAKoB ist eine effiziente und effektive Organisations- und

Behandlungsform für den Umgang mit hochinfektiösen Patienten geschaffen worden, die einen Zusammenschluss der Länderinteressen darstellen.

Mit den Ausführungen von **Walter Gaber** (Fraport AG, Frankfurt) wird ein Anwender, der an einem Drehpunkt des internationalen Reiseverkehrs arbeitet, zum Umgang mit Infektionskrankheiten und deren Management vor Ort im Hinblick auf internationale Schnittstellen befragt. Aus den Erfahrungen am Flughafen Frankfurt am Main, an dem der europäische SARS Indexpatient und seine Frau gelandet waren und in dem Behandlungszentrum Frankfurt am Main behandelt wurden (s. Beitrag von René Gottschalk), formuliert Walter Gaber den Informationsbedarf und den Arbeitseinsatz sowie die bisher entwickelten medizinischen Maßnahmen zur Verhinderung der weiteren Ausbreitung von Infektionskrankheiten und weitere Anforderungen.

Mit dem Beitrag von **Klaus Riedmann** und **Julia Sasse** (beide Robert Koch-Institut, Berlin) wird ein Beispiel vorgestellt, wie die Planungen und Vorbereitungen des Bundes und der Länder vorangeschritten sind. Mit dem Pockenrahmenplan wurde auf eine organisatorische Herausforderung reagiert, der auch für künftige biologische Lagen (die nicht nur einen Pockenausbruch betreffen) und nationalen Ausbrüchen von Infektionskrankheiten als Grundlage verwertet werden kann.

Da biologische Lagen ein großes Angst- bzw. Panikpotenzial unterstellt werden, werden an das Kommunikations-Management hohe Anforderungen gestellt. **Manfred Wildner** (Bayerisches Landesamt für Landwirtschaft, Ernährung und Gesundheit, Oberschleißheim), **Wolf Dombrowsky** (Katastrophenforschungsstelle der Universität Kiel) und **Petra Dickmann** (Robert Koch-Institut, Berlin) stellen neue konzeptionelle Aspekte der Risikokommunikation in Szenarien biologischer Gefahren vor, mit dem das erste Kapitel schließt.



## 1.2 Das BBK – Partner von Ländern und Kommunen im Bevölkerungsschutz

*Christoph Unger*

### Zusammenfassung

Das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) ist am 01. Mai 2004 mit dem Ziel errichtet worden, ein gemeinsames Krisenmanagement für die Fälle außergewöhnlicher, national bedeutsamer Gefahren- und Schadenslagen, bei dem alle staatlichen, aber auch die kommunalen Ebenen und darüber hinaus Hilfsorganisationen oder Feuerwehren zusammenarbeiten müssen, zu etablieren.

Die Erfahrungen aus dem Elbehochwasser 2002 und die neuen Bedrohungen durch den internationalen Terrorismus hatten deutlich gemacht, dass das zweigeteilte deutsche Katastrophenvorsorgesystem, hier der (Bundes-) Zivilschutz im Kriegsfall, dort der friedensmäßige Katastrophenschutz in der Zuständigkeit der Länder, den Anforderungen nicht mehr gerecht wurde.

Als Bundesoberbehörde steht das BBK als eine Säule neben dem Bundeskriminalamt, dem Bundesamt für Verfassungsschutz und anderen in der Architektur der inneren Sicherheit, ohne allerdings selbst operative Befugnisse zu besitzen.

Die rechtlichen Grundlagen des BBK ergeben sich aus dem Errichtungsgesetz und dem Zivilschutzgesetz. Die verfassungsrechtlichen Grundlagen wurden nicht verändert, zwischen Bund und Ländern ist der Weg der pragmatischen Verständigung ohne Kompetenzverlagerung beschritten worden.

Der umfangreiche Aufgabenbestand des Amtes spiegelt sich in seinen sieben „Zentren“ wider:

- Krisenmanagement/Katastrophenhilfe
- Notfallvorsorge und -planung, Internationale Angelegenheiten

- Schutz Kritischer Infrastrukturen
- Katastrophenmedizin
- Zivilschutzforschung, ABC-Schutz/-Vorsorge
- Zivilschutzausbildung
- Ergänzender Katastrophenschutz, Technik und Ausstattung

Gerade im Bereich des ABC-Schutzes sieht das Amt eine seiner Aufgabenschwerpunkte. Die von den Ländern auf Grundlage der neuen Strategie für den Bevölkerungsschutz in Deutschland vorgelegten Gefährdungsanalysen machen deutlich, dass gerade hier die besondere Unterstützungsleistung des Bundes für Länder und Kommunen liegt.

Dieser Herausforderung wird das BBK gerecht: Zurzeit werden ca. 52.000 Sätze ABC-Schutzausstattung ausgeliefert. Das Amt entwickelt zusammen mit Feuerwehren mobile Task Forces sowohl für den C- als auch den B-Bereich. Für die nächste Generation von ABC-Erkundungsfahrzeugen befinden sich Messleitkomponenten und Ferndetektionsinstrumente in der Entwicklung. In Hinblick auf anstehende Großveranstaltungen werden vom BBK Konzepte zur Dekontamination von Verletzten gemeinsam mit den Ländern entwickelt.

Im Rahmen von länderübergreifenden oder kleineren Übungen der Stäbe aus den Veranstalterstädten der WM, die vom Amt vorbereitet und geleitet werden, werden schwerpunktmäßig auch ABC-Lagen durchexerziert.

Gerade im Bereich des ABC-Schutzes ist das BBK mit seinen Info-Datenbanken oder der fachlichen Expertise, den sich entwickelnden Netzwerken von Fachleuten und seinen Koordinierungsfähigkeiten qualifizierter Partner von Ländern und Kommunen.

Im Mai 2004 ist das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe als selbstständige Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministerium des Inneren (BMI) neu errichtet worden. Zusammen mit Bundespolizei, Bundeswehr, Nachrichtendiensten und dem THW stellt es eine der wichtigsten Säulen im Sicherheitskonzept des Bundes dar.

Das BBK wirkt mit bei der Realisierung der Zielsetzungen der „Neuen Strategie zum Schutz der Bevölkerung in Deutschland“, ein Konzept, das Anfang Juni 2002 auf der Sitzung der ständigen Konferenz der Innenminister und -senatoren der Länder verabschiedet wurde – als Konsequenz der politischen Neubewertung des Bevölkerungsschutzes nach den Ereignissen des 11. September 2001 und der Flutkatastrophe im Sommer 2002 an Elbe und Donau. Philosophie der Neuen Strategie ist ein gemeinsames Krisenmanagement durch Bund und Länder bei außergewöhnlichen, national bedeutsamen Gefahren- und Schadenlagen, bei dem alle Ebenen (d.h. die Kommunen, Länder und der Bund) zusammenarbeiten müssen. Vorrangiges Ziel ist es, die vorhandenen Hilfspotenziale des Bundes und die der Länder besser miteinander zu verzahnen. Vor allem sollen neue Koordinierungsinstrumente für ein effizienteres Zusammenwirken des Bundes und der Länder entwickelt werden, damit die Gefahrenabwehr auch auf neue, außergewöhnliche Bedrohungen angemessen reagieren kann.

Durch das BBK sollen die Dienstleistungen und Serviceangebote des Bundes im Bereich des Zivil- und Katastrophenschutzes gebündelt und zentral vorgehalten werden. Dabei versteht sich das BBK als Partner der Länder, Kreise und Kommunen wie auch der Feuerwehren und Hilfeleistungsorganisationen. Es unterstützt fachübergreifend andere Bundes- und Landesbehörden sowie alle im Bevölkerungsschutzsystem mitwirkenden Organisationen bei der Erfüllung ihrer Aufgaben im Bevölkerungsschutz.

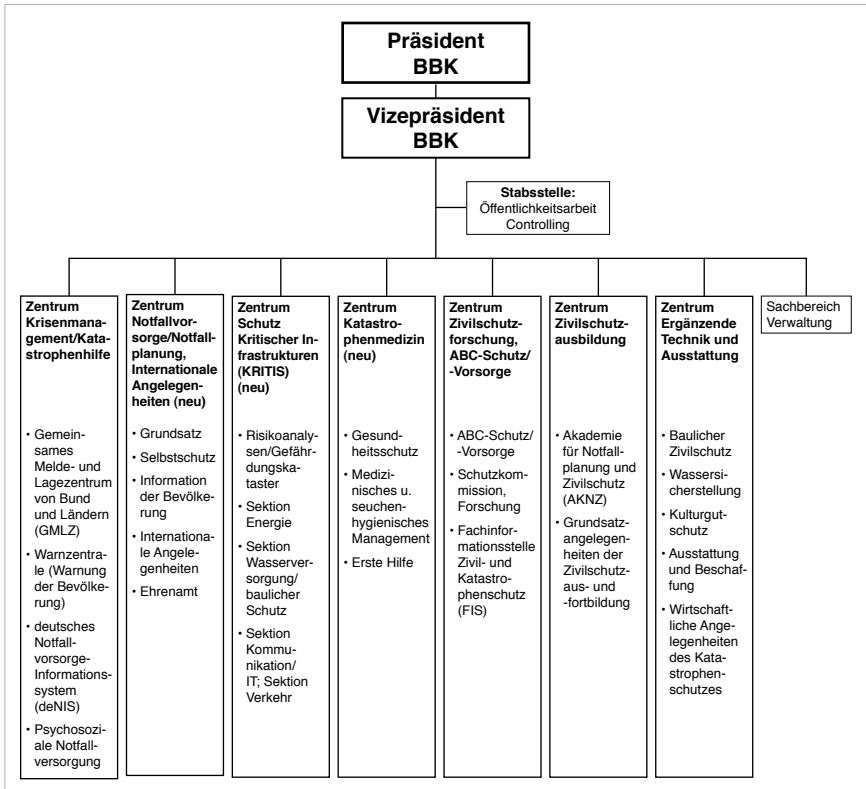


Abb. 1: Organigramm des BBK

Das weite Aufgabenfeld des BBK spiegelt sich in seiner organisatorischen Gliederung und in seiner Einteilung in Zentren mit Fachbereichen wider:

- Das Zentrum Krisenmanagement und Katastrophenhilfe mit dem Gemeinsamen Melde- und Lagezentrum von Bund und Ländern (GMLZ), der Warnzentrale, dem deutschen Notfallvorsorge-Informationssystem (deNIS) und der Zentralen Stelle zur Koordinierung von Nachbetreuungsmaßnahmen, Opfer- und Angehörigenhilfe für von schweren Unglücksfällen oder Terroranschlägen im Ausland betroffener Deutsche (NOAH).

- Das Zentrum Notfallvorsorge/Notfallplanung, Internationale Angelegenheiten (N) befasst sich schwerpunktmäßig mit der Konzeption des Bevölkerungsschutzes, der Information der Bevölkerung, der internationalen Zusammenarbeit, dem Ehrenamt und dem Selbstschutz.
- Das Zentrum Schutz kritischer Infrastrukturen (KRITIS) erstellt Risikoanalysen für verschiedene Bereiche wie die Energieversorgung, die Wasserversorgung, den technisch-baulichen Schutz sowie das Verkehrswesen und die Kommunikation und entwickelt daraus Schutzkonzepte für diese Bereiche.
- Das Zentrum Katastrophenmedizin (M) behandelt den Gesundheitsschutz allgemein sowie medizinisches und seuchen-hygienisches Vorsorgemanagement einschließlich Aufgabenstellungen der Ersten Hilfe. Zum Aufgabebereich gehört auch die Luftrettung.
- Das Zentrum Zivilschutzforschung, ABC-Schutz und Vorsorge (F) befasst sich mit ABC-Schutzmöglichkeiten und -maßnahmen, z. B. der Entwicklung neuer Messtechnik und unserer Task Forces, auf die ich später zu sprechen komme.
- Das Zentrum Zivilschutzausbildung (A) besteht im Wesentlichen aus der Akademie für Notfallplanung und Zivilschutz mit Sitz in Bad Neuenahr – an der vielleicht schon Sie selbst aus- und fortgebildet wurden.
- Das Zentrum Technik und Ausstattung (T) bearbeitet Aufgabenstellungen im Bau- und Wassersicherstellungsbereich, im Beschaffungswesen des Ergänzenden Katastrophenschutzes und im Bereich der Maßnahmen zum Schutz von Kulturgut.

Aus dem breiten Aufgabenspektrum des BBK werden im vorliegenden Beitrag die Aktivitäten im Bereich des ABC-Schutzes dargestellt. Gerade hier sieht das Amt einen seiner Aufgabenschwerpunkte. Angesichts der neuen Bedrohungssituation und den Erfordernissen ihrer Bewältigung wurden die Aktivitäten in diesem Bereich in den vergangenen Jahren verstärkt.

Entsprechend des Auftrags aus dem Zivilschutzgesetz ergänzt der Bund die Ausstattung des Katastrophenschutzes der Länder u. a. in dem Aufgabenbereich des ABC-Schutzes.

Für die Durchführung gezielter Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung im Falle von Ereignissen mit chemischen, biologischen oder radiologischen Substanzen ist die Erkundung der ABC-Lage eine wichtige Voraussetzung. Zu diesem Zweck hat der Bund in den Jahren 2001 bis 2003 insgesamt 371 ABC-

Erkundungskraftwagen beschafft und den Ländern im Rahmen der ergänzenden Ausstattung im Katastrophenschutz zur Verfügung gestellt. Diese sind fast ausschließlich bei den Feuerwehren disloziert und werden von diesen auch in der alltäglichen Gefahrenabwehr eingesetzt.

Die ABC-Erkundungsfahrzeuge sind mit moderner Ausstattung für radiologische und chemische Messungen versehen, die dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen. Sie gehören weltweit zu den modernsten Fahrzeugen dieser Art. Darüber hinaus befindet sich auf dem ABC-Erkunder Ausstattung für die Probennahme bei Verdacht auf radiologische, chemische und biologische Kontamination sowie Ausstattung für die Erfassung lokaler Wetterdaten. Markierungsausstattung zur Kennzeichnung und Überwachung von chemischen, biologischen und radiologischen Kontaminationen ist ebenfalls vorhanden. Zur Erfüllung von Aufgaben im kontaminierten Gebiet steht den Einsatzkräften ABC-Schutzausrüstung zur Verfügung.

Um bei Großschadenlagen mit Ländergrenzen-übergreifenden Einsätzen ein Zusammenwirken der ABC-Erkunder zu ermöglichen, wurde unter Federführung des BBK durch eine Bund-Länder-Arbeitsgruppe eine Einsatztaktik für die ABC-Erkundung aufgestellt. Sie beschreibt taktische Einsatzgrundsätze für die ABC-Erkundung sowie die Aufgaben einer Messleitkomponente (MLK), um in einer Großschadenlage ein effektives Zusammenwirken mehrerer ABC-Erkundungseinheiten zu gewährleisten. Zurzeit wird ein Forschungsvorhaben zur Entwicklung einer Messleitkomponente durchgeführt. Diese soll bis zu fünf Erkundungskraftwagen leiten und deren Messdaten aufnehmen, zusammenfassen, auswerten und interpretieren. Datenfernübertragung und automatisierte Lagedarstellung sollen ebenfalls realisiert werden.

Der Schwerpunkt der Beschaffungen des Bundes zur Ergänzung des Katastrophenschutzes der Länder im laufenden und in den nächsten Jahren liegt bei rund 52.000 Sätzen persönlicher ABC-Schutzausrüstung für die Einsatzkräfte. Die persönliche ABC-Schutzausrüstung ist für Helfer vorgesehen, die den bundeseigenen Einsatzfahrzeugen des Katastrophenschutzes im Zivilschutz zugeordnet sind. Sie gewährleistet die Sicherheit und Einsatzfähigkeit der Helfer und soll die Einsatzmöglichkeiten bei ABC-Lagen erweitern. Die persönliche ABC-Schutzausrüstung umfasst Atem- und Körperschutzausrüstung und bietet auch Schutz vor biologischen Aerosolen, radioaktiven Stäuben, vielen Industriechemikalien und chemischen Kampfstoffen.

Um eine Kontamination von Einsatzkräften auszuschließen, erfordern Einsätze unter Beteiligung von chemischen, biologischen oder radioaktiven Stoffen Maßnahmen für eine Dekontamination.

Der Bund ergänzt die Dekontaminationskapazitäten des Katastrophenschutzes durch die Einsatzfahrzeuge zur Dekontamination von Personen („Dekont-LKW P“). 373 dieser Fahrzeuge wurden bislang beschafft. Sie dienen der Dekontamination von Einsatzkräften und – in geringerem Umfang – an der Einsatzstelle vorgefundenen kontaminierten Personen. Die Dekontaminationsanlage ist auf einem LKW verlastet und kann von drei Personen in kurzer Zeit aufgebaut werden. Die Anlage hat einen maximalen Durchsatz von etwa 60 Personen pro Stunde.

ABC-Ereignisse, die zu einer großen Anzahl kontaminierter verletzter Personen führen, stellen die verschiedenen Einsatzkräfte vor zahlreiche Herausforderungen. Eine hervorragende Grundlagenarbeit zu dieser Thematik wurde von der Arbeitsgruppe um Professor Domres (Universität Tübingen) vorgelegt, die im Rahmen der Zivilschutzforschung durch das BBK gefördert wurde (s. 4.6).

Die möglichen Lösungsansätze für die Gefahrenabwehr sind vielfältig. Die Umsetzung ist u. a. aufgrund der Beteiligung verschiedener Fachdienste, die hier interdisziplinär zusammenarbeiten müssen, nicht einfach. Bundesweit einheitliche, abgestimmte Vorgehensweisen sind dringend erforderlich. Das BBK hat die Aufgabe übernommen, diesen Abstimmungsprozess zu unterstützen. Die Bund-Länder Arbeitsgruppe „Dekontamination verletzter Personen“ erarbeitet derzeit ein Rahmenkonzept. Zeitgleich zur German BioSafety tagt auch der Ausschuss „Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung“ des Arbeitskreises V der Ständigen Konferenz der Innenminister und -senatoren der Länder, der sich u. a. mit diesem Rahmenkonzept befassen wird.

Das BBK wirkt mit bei den Vorbereitungen zur WM 2006 und unterstützt die Länder und Spielstätten u. a. durch Beratung, Fortbildung, Übungen und Seminarreihen. So wird im Oktober ein Kongress durchgeführt, der sich dem Thema „Dekontamination verletzter Personen“ widmet, um den Austragungsorten der Fußball-Weltmeisterschaft 2006 die Gelegenheit zum Erfahrungsaustausch zu geben und die Gefahrenabwehr auf diesem Gebiet zu verbessern. Es handelt sich um eine Folgeveranstaltung zum „Fachkongress WM 2006“, der Anfang Januar diesen Jahres stattfand.

Im Falle eines Großschadensereignisses mit mehreren hundert oder tausende von Verletzten steht die medizinische Versorgung auch in Hinblick auf die Verfügbarkeit von Sanitätsmaterial vor besonderen Herausforderungen. Durch das BBK wird zurzeit im Rahmen eines Pilotprojektes die Bevorratung von Sanitätsmaterial für den Massenansturm Verletzter in Angriff genommen.

Im Rahmen des Pilotvorhabens für eine effiziente Sanitätsmaterialbevorratung des Bundes wurde ein Konzept für ein modernes integriertes System der Sanitätsmaterialbevorratung in Deutschland entwickelt. Der neue Ansatz ermöglicht – als Innovation gegenüber den früheren Lagerhaltungen aus Zeiten des Kalten Krieges – eine kooperative Ressourcennutzung von Bund und Ländern im Sinne der „Neuen Strategie“.

Das Pilotprojekt hat im letzten Jahr mit dem Aufbau einer Sanitätsmittelbevorratung zur intensivmedizinischen Versorgung an ausgewählte Krankenhausaerzien begonnen. Hierzu wurden sogenannte Basispakete eingerichtet. Ein Basispaket „Intensivmedizin“ ermöglicht die Behandlung von einhundert Patienten über sieben Tage.

Im letzten Jahr wurde mit der Einrichtung von Basispaketen an Krankenhäusern in Nordrhein-Westfalen, Sachsen und Berlin begonnen. Die Beschaffungen sind inzwischen abgeschlossen. Für dieses Jahr sind Standorte in Bayern, Hessen und Niedersachsen geplant (Erweiterungsphase Basispaket). Mit allen drei Ländern wurden vorbereitende Gespräche geführt. In 2006 wird das Konzept auf die Länder Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg, Hamburg erweitert werden. Damit werden bei Abschluss des Pilotprojektes alle neun Länder, die WM-Austragungsorte besitzen, beteiligt sein.

Für spezielle ABC-Lagen sollen separate, szenariobezogene Lösungen konzipiert werden. Hierbei werden die Einbeziehung weiterer Partner aus Industrie, Großhandel und Bundeswehr sowie die Anbindung an spezielle Behandlungszentren geprüft.

Die neue Strategie zum Schutz der Bevölkerung in Deutschland sieht in ihrem Konzept eine Stufe IV für den Sonderschutz mit Hilfe von Spezialkräften (Task Forces) für besondere Gefahren vor. Zu den besonderen Gefahren gehören auch solche, die von radioaktiven, biologischen oder chemischen Stoffen ausgehen. Unter Task Forces werden im Allgemeinen Spezialeinheiten für den



Einsatz und die Bewältigung von Aufgaben bei großflächigen Gefährdungslagen verstanden. Sie bestehen zum einen aus Spezialisten, die über umfangreiche Erfahrung im Umgang mit ihrer Spezialausrüstung verfügen (operative Kräfte) und zum anderen aus Experten und Fachinstitutionen mit denen sie über ein Netzwerk verbunden sind (beratende Kräfte).

Der Bund bereitet zurzeit im Rahmen eines Pilotprojekts die Einrichtung von Task Forces für die chemische Analytik an den vier Standorten Berlin, Hamburg, Heyrothsberge und Mannheim vor. Neben den analytischen Fähigkeiten werden die Bewertung der Analyseergebnisse und die Beratung der lokalen Gefahrenabwehrkräfte zum Aufgabenspektrum der Task Forces gehören.

Zur Ausstattung der chemisch analytischen Task Force gehören Systeme zur Identifizierung von Chemikalien. Dabei kommt modernste Technologie zum Einsatz. Die Ausstattung soll durch Systeme zur Ferndetektion erweitert werden, welche die Detektion von luftgetragenen Schadstoffwolken aus der Ferne ermöglichen wird. Das System soll nach der Weiterentwicklung auch zur Überwachung des Luftraums bei Großveranstaltungen eingesetzt werden.

Die Operationsfähigkeit einer Task Force-Einheit wurde im Rahmen der EU-Vollübung EURATECH (Chemietransportunfall) im April 2005 in Valence/Frankreich unter Beweis gestellt.

Der Aufbau biologischer Task Forces wird im Rahmen von Forschungsvorhaben vorbereitet. Hierzu laufen derzeit zwei Pilotprojekte in Hamburg und Berlin, die zu spezialisierten und hoch mobilen Task Forces führen sollen. Während im Bereich der chemischen Detektion leistungsfähige mobile Technik zur Verfügung steht, fehlen für die Ausstattung einer B-Task Force noch weitgehend geeignete mobile Detektionssysteme und die entsprechenden Verfahren für den Einsatz. Ziel der Pilotprojekte ist daher die Erarbeitung der technischen und logistischen Grundlagen für den Einsatz einer solchen Task Force. Ein Schwerpunkt der Forschungsarbeiten ist die Entwicklung, Erprobung und Etablierung von Schnelltest und technischen Systemen zur B-Detektion.

Ein weiteres Ziel ist die Erarbeitung eines Gesamtkonzeptes hinsichtlich Aufbau, Organisation, Logistik und Einsatz einer mobilen B-Task Force.

Das Vorhaben schließt eine Machbarkeitsstudie und die Realisierung eines mobilen Labors ein.

Die Bundesmittel für die Zivil- und Katastrophenschutzforschung wurden vor allem im Bereich der ABC-Gefahrenabwehr aufgestockt. Derzeit widmen sich zwei Vorhaben der Zivilschutzforschung des BBK der Thematik „biologische Gefahren“: die gerade beschriebenen Pilotprojekte B-Task Forces und das Vorhaben „Interdisziplinäres Expertennetzwerk biologische Gefahrenlagen“.

Die Bewältigung außergewöhnlicher biologischer Gefahrenlagen setzt das effiziente Zusammenwirken und eine ressortübergreifende Zusammenarbeit aller beteiligten Fachdienste und Einrichtungen voraus, auch über die föderalen Grenzen hinweg. Dieser ressort- und länderübergreifende Ansatz soll durch das Expertennetzwerk realisiert werden. Das Vorhaben wird im Auftrag des BBK durch das Robert Koch-Institut durchgeführt und umfasst die Schwerpunkte Diagnostik, Erkundung, Klinik, Risikokommunikation, Dekontamination und Schutzausrüstung. Es soll den fachübergreifenden Austausch von Wissen und Erfahrungen auf diesem Gebiet fördern und wertvolle Synergien nutzen. Das Netzwerk schließt Experten aller beteiligten Fachrichtungen und Disziplinen ein, wie z. B. klinische Versorgung, Öffentlicher Gesundheitsdienst, Polizei, Feuerwehr, Rettungsdienst, Technisches Hilfswerk und die Bundeswehr.

Für die Projektarbeit wurden interdisziplinäre Arbeitsgruppen eingerichtet, die schwerpunktmäßig verschiedene Themen des biologischen Krisenmanagements bearbeiten. Die passwortgeschützte Internetseite [www.bevoelkerungsschutz.de](http://www.bevoelkerungsschutz.de) wird hierzu als Kommunikationsplattform einem erweiterten Expertenkreis zur Verfügung gestellt.

Im Rahmen des Vorhabens hat das BBK in Zusammenarbeit mit dem RKI das Buch „Biologische Gefahren – Beiträge zum Bevölkerungsschutz“ herausgegeben. Das Buch stellt eine Zwischenbilanz der bisherigen Überlegungen und Diskussionen zum biologischen Krisenmanagement dar und soll die zuständigen Behörden und Institutionen und alle Beteiligten bei Bund, Ländern und Kommunen bei ihren Planungen und Maßnahmen unterstützen. Eine zweite Auflage ist nun zur German BioSafety erschienen.

Auch die German BioSafety ist aus dem Expertennetzwerk hervorgegangen. Sie stellt ein wichtiges Forum dar, um den aktuellen Stand zu Spezialthemen des biologischen Krisenmanagements (Detektion, Dekontamination und Schutzausstattung) in einem interdisziplinären Teilnehmerkreis darzustellen und zu diskutieren. Sie ist damit ein wichtiger Beitrag zur Verbesserung des Bevölkerungsschutzes im Bereich der biologischen Gefahrenabwehr. Ich möchte an dieser Stelle allen Beteiligten, Organisatoren und Referenten für Ihr Engagement, Ihre Beiträge und das Gelingen der Veranstaltung danken.



## 1.3 Möglichkeiten und Grenzen der Unterstützung durch die Bundeswehr bei biologischen Gefahrenlagen

*Hans-Peter Weinheimer*

### Zusammenfassung

Der Vortrag stellt auf der Grundlage einer allgemeinen Risikobewertung und dem Auftrag der Bundeswehr Struktur und Fähigkeiten der ABC-Abwehr der Bundeswehr dar.

Dabei werden im Schwerpunkt die Fähigkeiten und Entwicklungen auf dem Gebiet der B-Aufklärung in der Bundeswehr erläutert und bewertet.

Im Einzelnen wird der operative Ansatz eines dreistufigen Systems der Aufklärung biologischer Kampfstoffe im Einsatz detailliert dargestellt:

- vorläufige Identifikation
- bestätigte Identifikation
- zweifelsfreie Identifikation.

Darüber hinaus soll deutlich gemacht werden, dass innerhalb der Bundeswehr B-Aufklärung im Verbund unterschiedlicher Aufgabenträger organisiert ist.

Dies sind vorrangig Kräfte, Mittel und Expertise der ABC-Abwehrtruppe des Heeres, des Zentralen Sanitätsdienstes der Bundeswehr und des Rüstungsbereichs. Aber auch das Erfordernis des Rückgriffs auf zivile Expertise und Fähigkeiten, insbesondere im Rahmen der so genannten „Zweifelsfreien Identifikation“, wird erläutert.

Abschließend werden auf der Grundlage der dargestellten und bewerteten Fähigkeiten der Bundeswehr in der B-Abwehr, die gesetzlichen und organisatorischen Voraussetzungen und Möglichkeiten einer entsprechenden Unterstützungsleistung durch die Bundeswehr bei biologischen Gefahrenlagen im Innern aufgezeigt.

## **Die ABC-Abwehr der Bundeswehr ist aus zweierlei Hinsicht von aktuellem Interesse**

Zum einem müssen wir uns alle fragen, ob wir, sei es innerhalb der Bundeswehr, wie auch in der zivilen Gefahrenabwehr, einem „biologischen Szenario“ gewachsen sind? Zum Zweiten diskutieren wir eigentlich das richtige Problem, wenn wir in der Politik und in den Medien ständig die Frage stellen, ob bezogen auf die Rolle der Armee das Grundgesetz hinreichend ist als Grundlage eines effektiven (und ggf. auch effizienten) Katastrophenschutzes in unserem Land, insbesondere in so genannten ABC-Lagen? Also auch bei Szenarien, die im weitesten Sinne, um bei unserem Thema zu bleiben, sich mit dem Einsatz von biologischen Kampfstoffen befassen.

Anders ausgedrückt: Bedarf eine moderne, den Risiken und Gefahren von Gegenwart und Zukunft angemessene gesamtstaatliche Sicherheitsvorsorge – hier im Rahmen der nichtpolizeilichen Aufgaben – einer veränderten Rechtsgrundlage, insbesondere bzgl. des Artikels 35 des Grundgesetzes (GG) oder ist es weniger das Grundgesetz, sondern vielmehr der vielleicht immer noch nicht hinreichend ausgeprägte Wille, die Fähigkeit bzw. sind es die aktuellen ablauforganisatorischen Regelungen zwischen den staatlichen Sicherheitsorganen und Einrichtungen, die einer wirksameren Zusammenarbeit entgegenstehen? Der Schlüssel zum Erfolg liegt vorrangig in der Organisation und nicht in der grundgesetzlichen Veränderung der bestehenden unterschiedlichen Zuordnung originärer Aufgaben. Die notwendigen Anpassungsleistungen könnten, wie in den Verteidigungspolitischen Richtlinien (VPR) beschrieben, im Rahmen einer gesamtstaatlichen Sicherheitspolitik mit flexiblen und aufeinander abgestimmten Instrumenten realisiert und in einem nationalen Sicherheitskonzept festgeschrieben werden. Die Bundeswehr hat auf der Grundlage ihres originären Auftrages und einer Risikobewertung spezifische Aufgaben in der B-Abwehr, insbesondere in der B-Aufklärung. Diese Aufgaben und die Möglichkeiten einer Unterstützung im Innern werden im Rahmen dieses Beitrags beleuchtet.

Der Beitrag ist daher wie folgt gegliedert:

1. **Auftrag der Bundeswehr, in Verbindung mit einer allgemeinen Risikobewertung**
2. **Das System ABC-Abwehr in der Bundeswehr – Fähigkeiten/Kräfte/Zuständigkeiten**
3. **B-Aufklärung im Einsatz – Prinzip und Weiterentwicklung**
4. **Anmerkungen zum Thema: Möglichkeiten und Grenzen der Unterstützung durch die Bundeswehr bei biologischen Gefahrenlagen im Innern**

### 1. Auftrag der Bundeswehr

Der neue Auftrag der Bundeswehr, der bis zum Jahre 2010 im Rahmen der Transformation seine vorläufige Umsetzung in eine neue Struktur erfährt, ist im Wesentlichen beschrieben in den Verteidigungspolitischen Richtlinien (VPR) vom 21.05.2003 und in der Konzeption der Bundeswehr (KdB) vom August 2004.

*Die VPR führen hierzu sinngemäß aus:*

Die Aufgaben der Bundeswehr werden neu gewichtet und Einsätze zur Konfliktverhütung und Krisenbewältigung einschließlich des Kampfes gegen den internationalen Terrorismus als die wesentlichen Beiträge der Bundeswehr zu einer umfassend angelegten deutschen Sicherheitspolitik definiert. Die konsequente Ausrichtung auf die wahrscheinlicheren Aufgaben (dies ist eben nicht mehr die Landesverteidigung auf eigenem Territorium, wie es bis 1989 der Fall war) bestimmt in Zukunft maßgeblich Fähigkeiten und Struktur der Bundeswehr.

*Und an anderer Stelle:*

„Zum Schutz der Bevölkerung und der lebenswichtigen Infrastruktur des Landes vor terroristischen und asymmetrischen Bedrohungen wird die Bundeswehr Kräfte und Mittel entsprechend dem Risiko bereithalten. Auch wenn dies vorrangig eine Aufgabe für Kräfte der inneren Sicherheit ist, werden die Streitkräfte im Rahmen der geltenden Gesetze immer dann zur Verfügung stehen, wenn nur sie über die erforderlichen Fähigkeiten verfügen oder wenn der Schutz der Bürgerinnen und Bürger sowie kritischer Infrastruktur nur durch die Bundeswehr geleistet werden kann. (Nr. 80)“

D. h. bzgl. der Risiken, dass gerade asymmetrische Bedrohungen im Zusammenhang mit – im weitesten Sinne – der Androhung oder gar des Einsatzes von ABC-Waffen eine wichtige Rolle in der militärischen Risikobewertung spielen. Dies findet insbesondere seinen Niederschlag in den außerordentlichen Anstrengungen der NATO und der EU in der Sicherstellung einer hinreichenden ABC-Abwehrfähigkeit ihrer Streitkräfte. Bei diesen Anstrengungen sind im Übrigen die Fähigkeiten und Entwicklungen in der Bundeswehr bzgl. der ABC-Abwehr hoch angesehen und setzen hier in vielen Bereichen einen international anerkannten Standard.

## **2. Das System ABC-Abwehr in der Bundeswehr – Fähigkeiten/Kräfte/Zuständigkeiten**

ABC-Abwehr ist in der Bundeswehr definiert als Sammelbegriff für alle Vorkehrungen und Maßnahmen gegen die Wirkungen von ABC-Kampfmitteln (Massenvernichtungswaffen). Dies schließt auch vergleichbare Gefährdungen, so genanntes industrielles und natürliches ABC-Gefahrenpotenzial ein. Vorrangiges Ziel der ABC-Abwehr ist die Erfüllung des Auftrages unter Sicherstellung eines bestmöglichen Schutzes, auch unter den Bedingungen des Einsatzes von Massenvernichtungswaffen (MVW) und vergleichbaren Gefahren. Dabei gilt es nach unserer Überzeugung, einen interdisziplinären Ansatz zu realisieren, d. h. „vor Ort“ einen Wirkverbund verschiedener Disziplinen – über die ABC-Abwehr hinaus – sicherzustellen. Die Bundeswehr hat diesen Weg im Rahmen ihrer Reform beschritten und die ABC-Abwehr mit den Schutzaufgaben zu dem neuen Aufgabenbereich „ABC-Abwehr und Schutzaufgaben“ im Sinne von „Schutz aus einer Hand“ zusammengeführt. Der Aufgabenbereich beinhaltet im Wesentlichen die folgenden Teilaufgaben: ABC-Abwehr, Selbstschutz, Brandschutz und Kampfmittelabwehr – Umweltschutz, Arbeitsschutz und Gefahrgutwesen. Die Zuständigkeit für die konzeptionelle und materielle Weiterentwicklung für diesen neuen Aufgabenbereich liegt innerhalb des BMVg (Bundesministerium für Verteidigung) im Führungsstab der Streitkräfte, in der Ämterebene beim Streitkräfteunterstützungskommando und damit im Organisationsbereich der Streitkräftebasis.

Das Fähigkeitsprofil der Teilaufgabe ABC-Abwehr lässt sich anhand der folgenden Elemente, die sich in der gesamten Organisation der ABC-Abwehr der Bundeswehr widerspiegeln, darstellen:



Elemente der ABC-Abwehr, die auch in der B-Abwehr ihren Niederschlag finden:

- Einzelschutz – persönliche ABC-Schutzausstattungen
- Sammelschutz – ABC-Schutzbelüftungsanlagen, insbesondere auch in Gefechtsfahrzeugen
- Medizinischer ABC-Schutz (z. B. med. B/C-Aufklärung, Dekontamination von Verwundeten, Verwundetentransport unter ABC-Bedingungen) in der Zuständigkeit des Sanitätsdienstes
- ABC-Auswertung (Gefährdungsvorhersage-Ausbreitungsmodelle von ABC-Kampfstoffen, Wirkungsbeurteilung, Beratung)
- ABC-Aufklärung (Detektion, Identifikation von ABC-Kampfstoffen und Gefahrstoffen und qualifizierte Probennahme)
- Dekontamination (Entgiftung, Entseuchung, Entstrahlung von Personal und Material) mit dem Ziel getroffene Schutzmaßnahmen des ABC-Schutzes aufheben zu können.

Die Risiken, aus denen sich die Forderungen an die ABC-Abwehr ableiten, lassen sich wie folgt bewerten:

Neben den grundsätzlichen Gefahren, die sich aus der Proliferation von MVW ergeben, sind die folgenden Risiken bzw. Gefährdungslagen, wie sie auch im Rahmen der Wahrnehmung originärer Einsätze eintreten können, bzgl. der Sicherstellung des Schutzes unserer Soldaten im Einsatz, von besonderer Relevanz:

- Terroristische Anschläge mit „begrenztem“ Einsatz von ABC-Kampfmitteln (vergleichbar mit dem Sarin-Anschlag in Tokio 1995 oder die Milzbrandanschläge in den USA bzw. die „Nachahmerfälle“ bei uns in Deutschland)
- Unfälle – insbesondere bei Einsätzen in Gebieten geringer Sicherheitsstandards und maroder Industrie (z. B. Bophal in Indien 1984, Tschernobyl 1986)
- Auswirkungen von Naturkatastrophen
- Kollateralschäden nach Einsatz konventioneller Waffen im Umfeld von nuklearer und chemischer Industrie bzw. entsprechender „kritischer Infrastruktur“
- weltweit zunehmende Ausbreitung von neuen und wiederauftauchenden Infektionskrankheiten.

All dies sind Gefährdungslagen, denen durch eine angemessene ABC-Abwehr mit technischen, medizinischen bzw. operativen Verfahren, Kräften und Mitteln zu begegnen sein wird.

### *Expertise, Kräfte und Mittel der ABC-Abwehr in der Bundeswehr*

Im Wesentlichen sind es neben den Einsatzelementen des Sanitätsdienstes die Kräfte der ABC-Abwehrtruppe des Heeres, die in der Durchführung, in der Unterstützung „vor Ort“, im Rahmen des originären militärischen Einsatzes, wie der subsidiären Hilfeleistung, in Frage kommen. Darüber hinaus gibt es eine ganze Reihe weiterer Einrichtungen, die erhebliches Potenzial an Expertise und Fähigkeiten aufweisen. Vorrangig sind es die – sozusagen – „klassischen“ Aufgaben der ABC-Abwehr – ABC-Aufklärung, ABC-Auswertung/Beratung und Dekontamination – die im Rahmen einer möglichen Unterstützung eine Rolle spielen:

Qualifizierte Unterstützungsleistungen (Expertise, Kräfte und Mittel) können im Wesentlichen aus den folgenden Bereichen der Bundeswehr bei Vorliegen der gesetzlichen Rahmenbedingungen und Verfügbarkeit abgerufen werden:

### *Gesamtüberblick der Einrichtungen/Zuständigkeiten und Kräfte*

- BMVg: Führungsstab der Streitkräfte, Führungsstab des Sanitätsdienstes und der Abteilung Wehrverwaltung – Bonn
- Streitkräfteunterstützungskommando (SKUKdo): Abteilung ABC-Abwehr und Schutzaufgaben (ABC-Abwehr: Gruppe I) – Köln-Wahn
- Sanitätsamt Bw – Abt IX (Medizinischer ABC-Schutz) – (Task Force Medizinischer ABC-Schutz und den 3 Fachinstituten – Institute für Radiobiologie, Mikrobiologie und das Institut für Pharmakologie und Toxikologie) – München
- Wehrwissenschaftliches Institut für Schutztechnologien – ABC-Schutz (WIS) – (Wissenschaftliche Expertise und Laborfähigkeiten) – Munster
- ABC- und Selbstschutzeschule (ABC/SeS) – ( u. a. mit mobiler Laborfähigkeit und professioneller Expertenteams in der ABC-Aufklärung und Beratung) – Sonthofen
- ABC-Abwehrbrigade 100 (Truppenteile der ABC-Abwehrtruppe, vor allem im Bereich der großräumigen ABC-Aufklärung, einschl. Strahlenspüren aus der Luft und gründliche Dekontamination) – Bruchsal

Verfügbarkeit und Wirksamkeit vorausgesetzt, kann dann immer noch das organisatorische Problem der „langen Wege“ einer zeitgerechten Unterstützungsleistung entgegen stehen, wie beispielsweise die Dislozierung der Verbände der ABC-Abwehrtruppe zeigt.

#### *Dislozierung der ABC-Abwehrtruppe*

- Albersdorf
- Prenzlau
- Höxter
- Bruchsal
- Sonthofen

Diese Situation verändert sich mit dem Stationierungskonzept vom 01. November 2004. Bis 2010 wird es demnach in den Standorten Albersdorf und Prenzlau keine ABC-Abwehrkräfte mehr geben. Bezogen auf die Einsatzkräfte wird dies jedoch insgesamt in der künftigen Organisation zu keiner Reduzierung der ABC-Abwehr-Einheiten führen, sondern prinzipiell zu einer Verschlechterung der Verfügbarkeit in der Fläche.

### **3. System B-Aufklärung im Einsatz – Prinzip und Weiterentwicklung**

Konkrete Möglichkeiten der Unterstützung durch die Bundeswehr bei biologischen Gefahrenlagen im Innern ergeben sich natürlich aus den originären Fähigkeiten. Was kann also die Bundeswehr unter Beachtung der gesetzlichen Rahmenbedingungen in der B-Abwehr leisten?

Innerhalb dieses Beitrages werden die derzeitigen wie auch die in der Weiterentwicklung befindlichen Fähigkeiten mit einem Akzent auf die B-Aufklärung beschrieben. In der Dekontamination und in der so genannten B-Auswertung, also der Gefährdungsvorhersage, einschließlich der Beratung der Truppenführung liegen selbstverständlich ebenfalls Unterstützungsmöglichkeiten. Von besonderer Bedeutung sind jedoch die Fähigkeiten in der B-Aufklärung, da hier insgesamt weltweit in den Streitkräften, die Fähigkeitslücken am stärksten ausgeprägt sind. Erst Anfang der 90iger Jahre wurde, nicht zuletzt durch die USA und dann innerhalb der NATO, die Risikoperzeption in Richtung biologischer Risiken verändert und damit die Fähigkeitslücke B-Aufklärung evident.

Nun wird auch innerhalb der Bundeswehr – den NATO-Forderungen folgend – insbesondere die B-Aufklärungsfähigkeit seit einigen Jahren vorrangig realisiert bzw. weiterentwickelt.

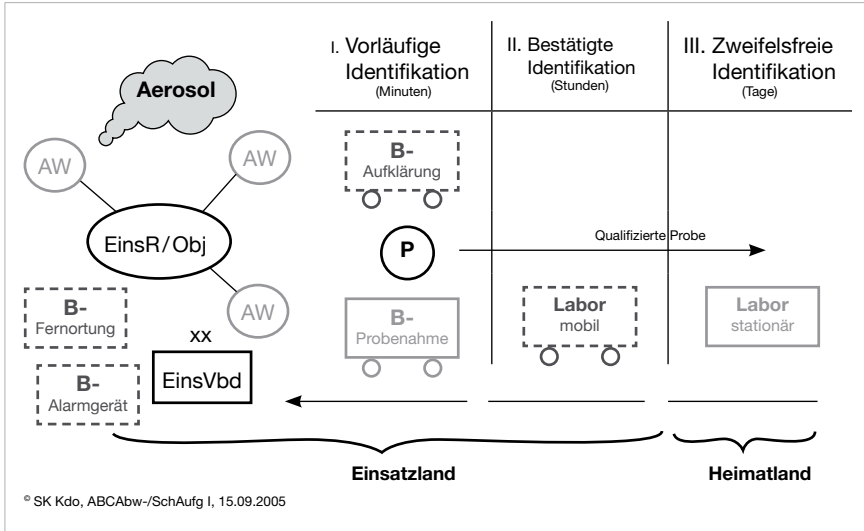


Abb. 2: Prinzip B-Aufklärung – schematisch

Grundsätzlich ist bei der B-Aufklärung festzustellen, dass es eine Aufgabenabgrenzung innerhalb der Streitkräfte in diesem Bereich vor allem zwischen der ABC-Abwehrtruppe und dem Sanitätsdienst gibt.

Kurz gesagt ist der Sanitätsdienst, abgeleitet aus seinem grundsätzlichen Auftrag der Erhaltung und Wiederherstellung der Gesundheit, ABC-Exponierter, insbesondere im Rahmen des medizinischen B-Schutzes, zuständig für die Entnahme und Untersuchung von B-Proben aus menschlichem und tierischem Untersuchungsmaterial und die ABC-Abwehrtruppe aus Material, Umwelt, also Luft, Wasser, Boden, Pflanzen. Dies bedeutet, ganz besonders in der B-Aufklärung, eine enge Zusammenarbeit sowohl in der Durchführung, im Einsatz, wie auch in der Entwicklung bzw. Weiterentwicklung der Fähigkeiten auf

diesem Gebiet. Eine Zusammenarbeit, die sich zunehmend intensiver gestaltet und positive Wirkung erzeugt. Also zwei Seiten einer Medaille, die Schutz und Überlebensfähigkeit der eingesetzten Soldaten sicherzustellen hat.

Ausgangspunkt für das dreistufige Verfahren ist die Einschätzung, dass die Freisetzung von Aerosolen die größte Gefährdung durch B-Kampfstoffe darstellt, da sich die luftgetragene Ausbreitung von biologischen Agenzien über große Entfernungen erstrecken kann, die Atemluft kontaminiert ist und Infektionen bzw. Intoxikationen über die Aerosole häufig deutlich effektiver als über andere Wege sind. Daher muss die Aerosoldetektion die Feststellung von B-Gefährdungen unmittelbar nach deren Auftreten ermöglichen, um rechtzeitig Schutzmaßnahmen einleiten zu können. Für die frühzeitige Erkennung, Warnung und Alarmierung sind Fähigkeiten zum Aufspüren und zur unspezifischen Identifikation einer Aerosolwolke biologischen Ursprungs als Grundlage für das rechtzeitige Treffen persönlicher Schutzmaßnahmen erforderlich. Also frühzeitige Entscheidung über erforderlichen Schutz bzw. Verdichtung der Erkenntnisse auf der Zeitachse bis hin zu einer spezifischen und letztlich zweifelsfreien Aussage zur tatsächlichen Gefährdung.

#### **4. Anmerkungen zum Thema: Möglichkeiten und Grenzen der Unterstützung durch die Bundeswehr bei biologischen Gefahrenlagen im Innern**

Deutschland verfügt seit vielen Jahren über ein – auch im weltweiten Vergleich – anerkannt hochleistungsfähiges, nationales Hilfeleistungssystem. Gleichwohl wird angesichts der berechtigten Annahme von Experten, dass es künftig Terroristen gelingen könnte, Massenvernichtungswaffen (MVW) zu erlangen und diese auch einzusetzen, der Ruf nach der Bundeswehr und ihren technischen und operativen Fähigkeiten im Rahmen der Anpassung gesamtstaatlicher Sicherheitsvorsorge immer lauter. In diesem Zusammenhang wird in der Diskussion um die Optimierung staatlicher Sicherheitsvorsorge der Bundeswehr häufig nachgesagt, sie verfüge im ABC-Abwehr/ABC-Schutzbereich über herausragende Fähigkeiten, die keine zivile Institution aufzuweisen habe, und man verlangt, die Nutzung dieser speziellen Mittel und Kräfte im Falle terroristischer Anschläge auch im Innern sicherzustellen. Diese Forderung wird häufig verbunden mit dem Hinweis auf den Einsatz dieser Mittel im Ausland und dem Vorwurf, dass man bei Notsituationen im eigenen

Land gerade diese Möglichkeiten der eigenen Bevölkerung vorenthalte. Dieser Sichtweise sind folgende Fakten entgegenzuhalten:

- Der zivile Bereich hat sein Fähigkeitsprofil im Bereich der Bewältigung radiologischer, chemischer und eben auch biologischer Gefahrenlagen stark verbessert und erweitert.
- Die Einführung der ABC-Erkundungsfahrzeuge mit moderner Ausstattung für radiologische und chemische Analysen, einschließlich einer Probenahmeausstattung (seit Herbst 2001 wurden insgesamt 371 Fahrzeuge beschafft) und Dekontaminationskraftwagen für Personendekontamination (373 Fahrzeuge und die Beschaffung von Dekontaminationskraftwagen in Dienst gestellt) stellen den Kern des Beitrages des Bundes zu einer signifikanten Verbesserung der ABC-Abwehr im Katastrophenschutz dar. Diese Fahrzeuge werden den Ländern zur Verfügung gestellt und letztlich in die Gefahrstoffeinheiten der Feuerwehren integriert.
- Darüber hinaus bereitet der Bund die Einrichtung von Task Forces für die chemische Analytik an den Standorten Berlin, Hamburg, Heyrothsberge und Mannheim vor, und der Aufbau biologischer Task Forces wird im Rahmen von Forschungsvorhaben vorbereitet.

Dies sind nur einige, zweifellos wesentliche Beispiele, hinsichtlich der vorhandenen bzw. im Aufbau begriffenen ABC-Abwehrfähigkeit von Bund und Ländern. Darüber hinaus verfügt Deutschland u. a. eben mit dem Robert Koch-Institut (RKI) und dem Bernhard-Nocht-Institut (BNI) über umfassende, hochqualifizierte Laborkapazitäten zur Analyse von radiologischem, biologischem und chemischem Gefährdungspotenzial. Im Wissen um diese Fähigkeiten und Entwicklungen ist es sicher unlauter, dem Zivil- und Katastrophenschutz Hilflosigkeit im Bezug auf die Bewältigung von ABC-Lagen zu unterstellen; genau wie es auf der anderen Seite verfehlt ist, die Fähigkeiten der Bundeswehr in der ABC-Abwehr in einer Weise darzustellen, die dem Bürger quasi eine in diesem Bereich omnipotente Organisation vorgaukelt. Richtig ist, dass in unserem Land im Rahmen des Katastrophenschutzes erhebliche Anstrengungen unternommen werden, um den neuen Anforderungen an ein den Risiken, insbesondere im Bereich von ABC-Szenarien, angepasstes und wirkungsvolles, nationales Hilfeleistungssystem gerecht zu werden. Dass hier noch Fähigkeitslücken vorhanden sind, ist unbestritten und wird durch die Verantwortlichen in Bund und Ländern nicht verschwiegen, wie beispielsweise das im Oktober 2004 durchgeführte Forum der Deutschen Gesell-

schaft für Wehrtechnik (DWT) „Bevölkerungsschutz und Bundeswehr – Partner moderner gesamtstaatlicher Sicherheitsvorsorge im ABC-Schutz“ in der Stadthalle Bad Godesberg gezeigt hat. Darüber hinaus sind umfassende Defizitanalysen, verbunden mit neuen Vorschlägen und Strategien zur Verbesserung staatlicher Notfallvorsorge z. B. durch den „Dritten Gefahrenbericht der Schutzkommission beim Bundesminister des Innern“ und durch die „Neue Strategie zum Schutz der Bevölkerung in Deutschland“ erarbeitet und veröffentlicht worden.

Bezüglich der Möglichkeiten der Bundeswehr auf dem Gebiet der ABC-Abwehr ist festzuhalten, dass sie für die Erfüllung ihres originären Auftrags Fähigkeiten besitzt, die gerade im B-Bereich mit Nachdruck weiterentwickelt werden. Diese Fähigkeiten entsprechen weitgehend den erforderlichen Anforderungen in der zivilen Gefahrenabwehr. Dies resultiert vor allem aus der Beurteilung, dass im Zeitalter asymmetrischer Kriegsführung und des internationalen Terrorismus, sowohl Soldaten im Einsatz, als auch die Zivilbevölkerung im eigenen Lande, in weiten Bereichen potenziell den gleichen Gefährdungen ausgesetzt sind. Der Rückgriff auf die, zur Erfüllung ihrer originären Aufgaben vorhandene Kapazitäten der Bundeswehr, ist eine selbstverständliche und im Ereignisfall ggf. notwendige Option des Staates, die jedoch die Zuweisung eigenständiger Aufgaben für die Bundeswehr im Innern nicht erforderlich macht, sondern lediglich im Falle einer „außergewöhnlichen“ Schadenslage eine immer subsidiär zu leistende – jedoch hoffentlich gut funktionierende – Unterstützung der zuständigen Institutionen der Länder und des Bundes darstellen kann.

In der Diskussion um den Einsatz der Bundeswehr in der Terrorismusabwehr ist grundsätzlich zwischen dem Einsatz der Streitkräfte nach außen und nach innen zu unterscheiden. „Originär“ ist der Einsatz im Rahmen des Schutzes nach „außen“, auch im „Kampf gegen den Terrorismus“. Dies war der Fall bei der „Operation Enduring Freedom“, wo die Bundeswehr ABC-Abwehrkräfte nach Kuwait mit dem Auftrag entsandt hatte, die dort eingesetzten militärischen Kräfte verbündeter Staaten im Bereich der ABC-Abwehr bei Bedarf zu unterstützen. Der Rückgriff auf Fähigkeiten und Kapazitäten der Streitkräfte im „Innern“ nach einem Anschlag mit Massenvernichtungswaffen oder bei vergleichbaren Szenaren ist möglich und erfolgt grundsätzlich subsidiär auf der Grundlage des Artikels 35 GG. Über welche Befugnisse die Streitkräfte dann im Falle einer solchen Unterstützungsleistung verfügen,

richtet sich in Abhängigkeit vom vorliegenden Szenario nach Artikel 35 Abs. 2 bzw. 3 – Einsatz der Bundeswehr als Unterstützung der Polizeien bei Vorliegen eines Katastrophennotstands – oder Abs. 1 als verpflichtende Amtshilfe und damit ohne Einsatzqualität.

Die Bundeswehr besitzt Fähigkeiten, die sie natürlich im Rahmen der gesetzlichen Regelungen, wie in den letzten Jahrzehnten immer wieder überzeugend bewiesen, auch zur Verfügung stellt, vorausgesetzt die Verfügbarkeit wird durch den originären Auftrag und seine Rahmenbedingungen nicht eingeschränkt bzw. in Gänze verhindert. Da der originäre militärische Auftrag im Einzelfall immer von der politischen Führung bestimmt wird, kann diese ihn im konkreten Einzelfall auch immer so verändern, dass militärische Kräfte für die Hilfeleistung verfügbar sind. Sie kann also z. B. entscheiden, dass – um das Beispiel Kuwait aufzugreifen – der dortige Einsatz zur Unterstützung Verbündeter abgebrochen wird, um im Inland helfen zu können. Darüber hinaus ist es wichtig zu verstehen, dass einer Inanspruchnahme von Einsatzelementen der ABC-Abwehr der Streitkräfte, immer eine differenzierte Einzelfallbetrachtung vorausgehen muss. Die ABC-Abwehr der Bundeswehr ist ohne Zweifel eine sehr leistungsstarke Organisation, die auch zu Recht international große Anerkennung erfährt. Sie ist jedoch keinesfalls, insbesondere bezogen auf die Katastrophenhilfe, wie bereits erwähnt, eine „omnipotente“ Organisation. Und der zu Recht viel gerühmte Spürpanzer FUCHS ist unbestritten ein hervorragendes ABC-Aufklärungssystem, aber eben auch kein Einsatzmittel, das in der Lage ist, allen Anforderungen einer „ABC-Lage“ gerecht zu werden, schon gar nicht einer biologischen Gefährdungs- bzw. Schadenslage. Hierzu wird derzeit ein gesondertes Einsatzfahrzeug konzipiert – B-Aufklärungs-System ABC-Abwehrtruppe.

#### *Grundsätze der Zusammenarbeit und Unterstützung im Rahmen der Hilfeleistung*

Unbeschadet der originären Zuständigkeiten ist professionelle Zusammenarbeit notwendig und auch möglich. Dazu ist jedoch die gegenseitige Kenntnis der Fähigkeiten und Mittel unabdingbare Voraussetzung. Es darf nicht erst unter dem Druck der Ereignisse zur „hektischen“ Zusammenarbeit kommen. Beide Seiten müssen sich noch besser kennen lernen und verstehen und akzeptieren, was in der Unterstützung durch die Bundeswehr wirklich erwartet werden kann. Die Bundeswehr wird in einer Schadenslage nicht in „vorderster Linie“ – auch zeitlich gesehen – zu finden sein. Zunächst werden neben der



Polizei, die Rettungsdienste und fachlich/ABC-technisch die Feuerwehren mit der „Lage“ konfrontiert.

Der Einsatz der Bundeswehr wird dann im Zusammenwirken mit den Offizieren in der territorialen Organisation der Streitkräfte, im Rahmen der zivil-militärischen Zusammenarbeit im Inland (ZMZ/I) realisiert werden müssen. Diese Nahtstelle der Zusammenarbeit gilt es, immer wieder anzupassen und zu optimieren. Das gemeinsame Planen und Handeln muss geübt werden. Dies geschieht, wie zuletzt bei der Übung „LÜKEX“ (Länderübergreifende Krisenmanagementübung) des Bundesministeriums des Innern (BMI), die vom 29. November bis 1. Dezember 2004 stattfand und vom 12. bis 15. Dezember 2005 wieder stattfindet. Aber auch die Bereitstellung von so genannten Präventivkräften im Falle des Besuchs des US-Präsidenten Bush in Mainz und zuletzt beim Weltjugendtag (WJT) in Köln.

In den Abstimmungen im Rahmen der ZMZ/I sind es die folgenden grundsätzlichen Fragestellungen, die es zu beachten gilt, wenn die Bundeswehr im Inland zur Bewältigung einer Schadenslage herbeigezogen werden soll:

### **Rahmenbedingungen der Unterstützung**

- Verfügbarkeit – nach Raum und Zeit,
- Mobilität der Einsatzelemente,
- Ausbildungsstand,
- Ausstattungsstand – Stand der technischen Einsatzbereitschaft,
- Kompatibilität (z. B. der Kommunikationsmittel).

Aufgrund dieser Faktoren ist grundsätzlich keine verbindliche Einplanung von Kräften in Katastrophenschutzplänen für den Einsatz im Rahmen der Hilfeleistung möglich und sinnvoll. Was jedoch, wie eben dargestellt, „präventive“ Regelungen nicht ausschließt.

### **Beratung der Entscheidungsträger**

Die sachgerechte Umsetzung der Ergebnisse, die durch entsprechende Einsatzelemente und Verfahren ermittelt worden sind, müssen für eine Beur-

teilung der jeweiligen Entscheidungsträger in den entsprechenden Ebenen nutzbar gemacht werden. Dies ist eines der vorrangigen Probleme nicht nur im militärischen Bereich. Qualifizierung der „Berater“, Verfügbarkeit eines Unterstützungssystems zur systematischen Erfassung und Auswertung relevanter Fakten bzw. Informationen sind Voraussetzungen, die es zu realisieren bzw. weiterzuentwickeln gilt. Hier haben wir in meiner Zuständigkeit eine Studie beauftragt, in die auch das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe eingebunden ist. Diese Studie untersucht genau dieses Feld der „qualifizierten Beratung“ der Entscheidungsträger auf der Truppenführungsebene bzw. auf der Ebene der Entscheidungsträger sowohl für den Bereich Auslandseinsatz, wie auch im Inland, im Rahmen der ZMZ.

## **Zusammenfassung**

Zusammenfassend lässt sich feststellen:

1. Die Bundeswehr besitzt und entwickelt Fähigkeiten für den originären Auftrag, die den erforderlichen Fähigkeiten des zivilen Bereichs zunehmend entsprechen.
2. Die Zusammenarbeit mit den zuständigen zivilen Stellen und Einsatzkräften ist gut – die zivil-militärische Zusammenarbeit funktioniert. Sie wird darüber hinaus bis 2010 noch stärker auf die Aufgabe „Hilfeleistung“ ausgerichtet und durch Einbeziehung, insbesondere von Staboffizieren der Reserve als Beauftragte der Bundeswehr für die zivil-militärische Zusammenarbeit (BeaBwZMZ) auf Kreis- und Regierungsbezirksebene deutlich intensiviert werden.
3. Es muss und kann noch besser zusammengearbeitet werden, in der Ausbildung, in gemeinsamen Übungen, in der Entwicklung von Gerät und von Verfahren und damit auch in einer gemeinsamen Fähigkeitsanalyse. Erste Ansätze sind erkennbar: Offiziere der Bundeswehr sind als Ausbilder an der Akademie für Krisenmanagement, Notfallplanung und Zivilschutz (AKNZ) eingesetzt. Vertreter des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe sind an Arbeitsgruppen des CPM (Customer Product Management) der Bundeswehr, also dem Bundeswehr-Verfahren zur Entwicklung und Beschaffung von Material, beteiligt. Die nach meiner Ansicht dringend

notwendige stärkere Institutionalisierung dieser Zusammenarbeit auf der Amtsebene wird derzeit zwischen dem Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe auf der einen Seite und dem Sanitätsdienst der Bundeswehr und dem Streitkräfteunterstützungskommando auf der anderen Seite für den Bereich ABC-Abwehr initiiert, und, wie ich hoffe und auch erwarte, alsbald realisiert.

4. Und zuletzt nochmals der Hinweis, dass im Falle einer Anfrage zur Hilfeleistung es genau zu prüfen gilt, ob Unterstützung wirklich möglich ist – differenzierte Einzelfallbetrachtung ist also immer geboten – insbesondere unter Berücksichtigung des Faktors Zeit.

Sorgfältige und sachkundige Prüfung und Organisation des Einsatzes vorausgesetzt, ist die Bundeswehr ein verlässlicher, kompetenter und leistungsstarker, allerdings „subsidiär“ handelnder Partner in der Gefahrenabwehr und im Katastrophenschutz im Innern. Diese Partnerschaft sicherzustellen, insbesondere für meist komplexe und psychologisch schwierige „ABC-Lagen“, verlangt einen Prozess der stetigen vertrauensvollen Zusammenarbeit zwischen den Behörden und Institutionen des Bevölkerungs- und Katastrophenschutzes mit den entsprechenden Dienststellen der Bundeswehr bzw. der Streitkräfte. Dass diese Zusammenarbeit, im Bereich der ABC-Abwehr, unverkrampft und erfolgreich funktioniert, haben zuletzt die bereits angesprochene Übung LÜKEX und das gemeinsame Forum „Bevölkerungsschutz und Bundeswehr“ in Bad Godesberg deutlich gemacht.



## 1.4 Einbindung des ÖGD in den Katastrophenschutz

*Wolfgang Müller*

### Zusammenfassung

Der Öffentliche Gesundheitsdienst in Deutschland – sowohl auf der Bundes-, Landes- und kommunalen Ebene – hat die Aufgabe des bevölkerungsbezogenen Gesundheitsschutzes. Er trägt somit eine Teilzuständigkeit in dem Gesamtbereich der Notfallplanung, der Katastrophenvorsorge und des Katastrophenschutzes. Die Gesamtverantwortung für diesen Bereich liegt bei den Katastrophenschutzbehörden der Länder und der Landkreise und kreisfreien Städte. Sowohl die rechtliche als auch die organisatorisch-fachliche Einbindung des ÖGD in den Katastrophenschutz ist in den Ländern Deutschlands unterschiedlich. Neben der Darstellung der derzeitigen Situation werden die Erwartungen, Forderungen und Grenzen einer konzeptionellen Weiterentwicklung der Einbindung des ÖGD in den Katastrophenschutz beschrieben und die besonderen Verantwortlichkeiten des ÖGD bei der biologischen Gefahrenabwehr, insbesondere bei übertragbaren Krankheiten, aufgezeigt und die sich daraus ergebenden Schlussfolgerungen dargelegt.

Zu den klassischen Kernaufgaben des Öffentlichen Gesundheitsdienstes (ÖGD) in Deutschland gehören neben der Prävention, Gesundheitsförderung und -planung auch der Gesundheitsschutz mit den Tätigkeitsfeldern der (Umwelt-)Hygiene und der Verhütung und Bekämpfung übertragbarer Krankheiten<sup>1</sup>. Die Fachbehörden des ÖGD sind vertikal und horizontal gegliedert entsprechend dem Verwaltungsaufbau und der Verwaltungsorganisation der Bundesrepublik Deutschland. Durch den Vertrag von Maastricht erhielt die EU Kompetenzen im Bereich Gesundheitsschutz, die in den weiteren Verträgen des Gemeinschaftsrechts noch erweitert wurden, mit der Konsequenz, dass unter anderem in 2005 das European Centre for Disease

---

1 Ausführliches zu den Aufgaben des ÖGD in: Bundesgesundheitsblatt, Band 48, Heft 10, Oktober 2005, „ÖGD: Public Health“.

Prevention and Control (ECDC)<sup>2</sup> in Stockholm als europäische Gesundheitschutzbehörde errichtet wurde. Die Zuständigkeiten auf Bundesebene für Öffentliche Gesundheit sind enumerativ im Artikel 74 Grundgesetz aufgeführt, diese sind im Wesentlichen auf die Bereiche des Gesundheitsschutzes begrenzt wie Boden-, Wasser-, Lufthygiene, Infektionskrankheiten und Verbraucherschutz. In der Umsetzung dieser verfassungsrechtlichen Norm sind in den letzten Jahren eine Reihe von Bundesoberbehörden geschaffen worden, die die bundesrechtliche Zuständigkeit fachlich umsetzen wie z.B. das Robert Koch-Institut in Berlin ([www.rki.de](http://www.rki.de)). Die Länder haben ihre verfassungsrechtlichen Zuständigkeiten in Landesgesundheitsdienst-Gesetzen umgesetzt. Auf deren rechtlichen Normen wurden auf Länderebene ebenfalls eine Vielzahl von Fachinstitutionen geschaffen z.B. Landesgesundheitsämter und Hygieneuntersuchungsämter. Diese sind fachliche Leitstellen für die kommunalen Gesundheitsdienste (Gesundheitsämter) und Koordinationsinstanzen zwischen der kommunalen Ebene und der Bundesebene. Gemäß den Landesverfassungen haben die Kreise und kreisfreien Städte in Deutschland die Aufgabe der administrativen Umsetzung sowohl der genannten bundesrechtlich geregelten als auch der landesrechtlichen Aufgaben im Bereich der Öffentlichen Gesundheit. Die Kommunalbehörden unterhalten in eigener Zuständigkeit die dazu erforderlichen Fachbehörden, für die sich die Bezeichnung „Gesundheitsamt“ eingebürgert hat. Aus dieser Aufgaben- und Zuständigkeitsbeschreibung ergeben sich nun eine Reihe von Überschneidungen und Schnittstellenproblematiken mit dem übergeordneten Bereich der nicht polizeilichen Gefahrenabwehr, der sich unter dem Begriff des „Katastrophenschutzes“ subsumieren lässt.

Verfassungsrechtlich ist der Katastrophenschutz Ländersache. Die Länder haben in den Katastrophenschutz-Gesetzen diese Verpflichtungen den Kreisen und kreisfreien Städten als weisungsgebundene Aufgaben übertragen. Somit sind sowohl die Behörden für öffentliche Gesundheit als auch die Katastrophenschutzbehörden Teil der kommunalen Verwaltungen. Daher bedarf es sowohl der fachlichen Abgrenzung und Zuweisung der Aufgaben im Bereich der Gefahrenabwehr zwischen den kommunalen Gesundheits- und Katastrophenschutzbehörden als auch der Festlegung der Zusammenarbeit innerhalb der Gesamtverantwortung. Da es hierzu keinen länderübergreifenden Muster-

---

2 Informationen zu den Aufgaben des ECDC finden sich auf der Homepage unter [www.ecdc.eu.int](http://www.ecdc.eu.int).

rahmenplan gibt, ist die fachliche und personelle Ausstattung der kommunalen Gesundheitsdienste auch innerhalb der Länder unterschiedlich und die administrative und fachliche Einbindung des ÖGD in den Katastrophenschutz kommunal unterschiedlich organisiert. Zur Feststellung der Ist-Situation und zur Erarbeitung von allgemeinen Empfehlungen hat das Bundesinnenministerium eine „Untersuchung zur Einbindung des Öffentlichen Gesundheitsdienstes in die katastrophenmedizinische Versorgung in der Bundesrepublik Deutschland“ (Band 54 der Schriftenreihe der Schutzkommission beim Bundesministerium des Innern, herausgegeben vom Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Neue Folge, 2004) in Auftrag gegeben. Die Autoren Pfenniger, Himmelseher und König kommen in der Analyse zu folgenden Ergebnissen und generellen Empfehlungen:

- Die Gesetzeslage zur Einbindung des ÖGD in den Katastrophenschutz kann als ausreichend bewertet werden.
- Die Einbindung der Ärzte des ÖGD in den Katastrophenschutz ist situationsadaptiert und bedarfsorientiert. In Katastrophenpläne ist der ÖGD integriert, eine implizite Implementierung ist jedoch zu fordern.
- Die Ärzte des ÖGD verfügen über eingehende Kenntnisse im Bereich Ausbruch von Seuchen und Bioterrorismus – die Kenntnisse im Bereich Unfälle mit chemischen und radioaktiven Stoffen müssen noch deutlich erweitert werden.
- Integration der Gesundheitsämter in die Katastrophenpläne und vorbereitenden Maßnahmen zur Katastrophenabwehr.
- Steigerung der katastrophenmedizinischen Kenntnisse der Ärzte des ÖGD durch Verbesserung der Aus- und Weiterbildung.
- Einrichtung nationaler Wissenszentren mit ständiger Erreichbarkeit. Längerfristige Einrichtung eines nationalen Netzwerks zur Katastrophenabwehr.

Die Befragung und Evaluation der Katastrophenschutzbehörden zur Integration der Ärzte des ÖGD in die katastrophenmedizinische Versorgung erbrachte folgende Ergebnisse und Erwartungen:

- generell gibt es nur eine situationsadaptierte und bedarfsorientierte Einbindung der Ärzte des ÖGD in die katastrophenmedizinische Versorgung der Bevölkerung – der ÖGD ist in die Katastrophenschutzpläne für spezifische Situationen meist integriert,

- 60 Prozent der Katastrophenschutzbeauftragten haben schon mit Ärzten aus dem ÖGD zusammengearbeitet und die Hälfte hiervon beurteilt die Zusammenarbeit als sehr gut,
- die Katastrophenschutzbeauftragten erwarten von der Integration der Ärzte des ÖGD vor allem Informationen zu Symptomen, zu therapeutischen Maßnahmen und organisatorische Bewältigung von ABC- und Seuchenfällen, ferner allgemeine medizinische Belange sowie die Planung katastrophenmedizinischer Einsatzabläufe durch die Ärzte der Gesundheitsämter,
- bei radioaktiven, biologischen und chemischen Stoffen können die Ärzte im ÖGD die Erwartungen noch nicht erfüllen (Intensivierung der Aus-, Fort- und Weiterbildung der Ärzte erforderlich),
- bei Prävention und Bekämpfung von Seuchen werden die Ärzte im ÖGD den Erwartungen gerecht,
- die katastrophenmedizinische Weiterbildung der Ärzte für das Öffentliche Gesundheitswesen sollte im Rahmen der Facharztweiterbildung deutlich verstärkt werden.

Interessant und zum Teil inhaltlich abweichend sind die Selbsteinschätzungen und Erwartungen des ärztlichen Personals der Gesundheitsämter bezüglich der Einbindung in den Katastrophenschutz:

- der Einsatz von Ärzten des ÖGD bei Großschadensereignissen und „konventionellen“ Katastrophen erscheint aufgrund fehlender Kenntnisse und Erfahrungen sowie mangelndem Aufgabenprofil wenig sinnvoll,
- eingehende Kenntnisse und Erfahrungen sind nur im Bereich Seuchenfälle vorhanden – hier sollte unbedingt eine Einbindung der Ärzte des ÖGD erfolgen,
- deutliche Erweiterung der Kenntnisse des ärztlichen Personals im Bereich Unfälle mit chemischen und radioaktiven Stoffen werden für notwendig erachtet,
- es besteht eine große Diskrepanz zwischen dem tatsächlich vorhandenen Wissen und dem Wunsch nach tiefer gehenden Kenntnissen,
- die Ärzte des ÖGD sollten im Katastrophenfall in den Bereichen Vorbereitung und Planung im Katastrophenschutzstab als Berater eingesetzt werden – nicht jedoch in der Patientenversorgung,
- es wird der Zugang der Ärzte zu Datenbanken und Kompetenzzentren gefordert – nicht alle Kenntnisse können während der Berufsausbildung erworben werden,



- deutliche Aufwertung des Themenkomplex „Katastrophenmedizin im Studium der Humanmedizin und der Facharztausbildung ÖGW“ wird empfohlen.

Im Rahmen der Evaluation zeigte sich, dass sich die Einbindung der Ärzte des ÖGD in die katastrophenmedizinische Planung vor und nach dem 11. September 2001 nur um ca. 10 bis 20 Prozent intensiviert hat. Diese reicht von einer sporadischen, situationsspezifischen Kooperation bis zu einer administrativ fest geregelten Einbindung (konkretisierte Zuständigkeiten, dezidierte fachliche Verantwortlichkeiten einschließlich Alarmierungsplanung).

Das Fazit der Autoren lautet: Obwohl die Gesetzeslage zur Einbindung des Öffentlichen Gesundheitsdienstes (ÖGD) in den Katastrophenschutz als ausreichend bewertet werden kann, ist die Einbindung der Ärzte des ÖGD in die katastrophenmedizinische Versorgung der Bevölkerung zurzeit nur situationsadaptiert und bedarfsorientiert. Die Autoren fordern daher, die Gesundheitsämter in die Katastrophenpläne und vorbereitenden Maßnahmen zur Katastrophenabwehr mit horizontaler und vertikaler Kompetenzfestschreibung zu integrieren. Diese allgemeinen Empfehlungen zur Funktion des (ärztlichen) Fachpersonals des ÖGD werden in Anlehnung an internationale Standards ausdifferenziert.

- bei der Lagefeststellung:  
Beratung zur Einschätzung des Schadensereignisses und der Gefahrenlage, des Schadens, insbesondere des Schadensumfangs, speziell für Mensch und Umwelt
- innerhalb des Auftrags:  
Beratung zur Einschätzung der Schaden- und Gefahrenabwehr, der benötigten Führung, insbesondere der benötigten Einsatzkräfte sowie der benötigten Einsatzmittel, speziell zur Rettung von Mensch und Umwelt
- bei der Planung für den Einsatz und während des Einsatzes:  
Beratung zur Beurteilung der Gefahren für Mensch und Umwelt, der Prioritäten der Gefahrenabwehr, der Möglichkeiten der Gefahrenabwehr, der Gefahrenlage für die Einsatzkräfte, der Entscheidung über die besten Möglichkeiten sowie der Kontrolloptionen

- bei der Entschlussfassung für die Einsatzdurchführung:  
Beratung zu Zielen, Einsatzschwerpunkten, Einteilung der Kräfte, Bewegungsabläufen, Ordnung des Raums, Versorgung speziell medizinischer Art sowie Kommunikationsmöglichkeiten
- bei der Prognosefindung zu den Abwehrmaßnahmen und Entwicklungen:  
Beratung zu Bedingungen, Erfordernissen, Möglichkeiten und Grenzen

Ergänzend wird eine Organisationsempfehlung für die Stellung des kommunalen Fachdienstes (ÖGD/Gesundheitsamt) für den Katastrophenschutzstab gegeben. Die in der Abbildung 3 genannten sachverständigen Berater sind auf der Fachebene – je nach Schadenslage und Schadstoff – zu erweitern, z. B. durch Umweltamt oder Veterinäramt.

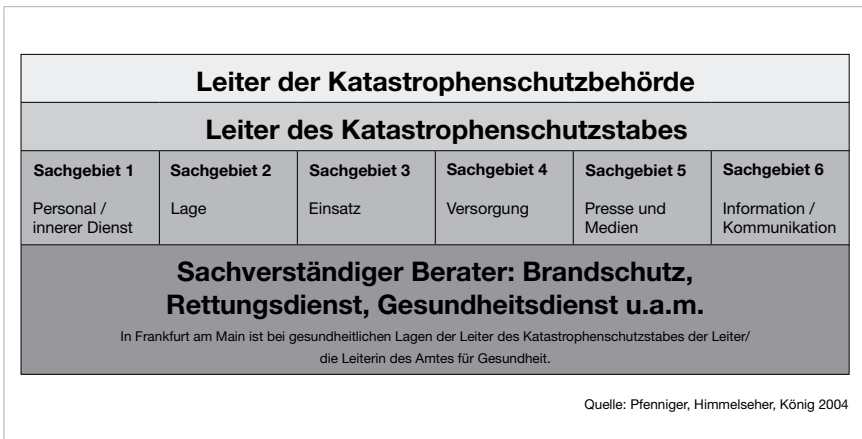


Abb. 3: Organisationsempfehlung

Die kommunalen Gesundheitsfachbehörden verfügen über Fach- und Handlungskompetenzen zu Fragen der Boden-, Wasser-, Lufthygiene sowie der Verhütung und Bekämpfung übertragbarer Krankheiten (Pfenninger, Himmelseher & König, 2004). Sollen diese Fachkenntnisse im Katastrophenfall eingesetzt werden, ist zu berücksichtigen und für die Ablauforganisation und für die konkrete operative Planung zwingend zu beachten, dass die

Gesundheitsfachdienste über keine eigene rechtliche Vollzugskompetenz, keine weitergehenden Analyse- und Laboreinrichtungen und keine zusätzlichen Einsatzkräfte für Notfallsituationen verfügen.

Bei Planungen/Störfällen/Großschadensereignissen/Katastrophen kann der kommunale Gesundheitsdienst als Berater der Entscheider und des Krisenstabes aus Politik und Fachbehörden (Feuerwehr, Polizei etc.) fungieren und eine fachliche Teilverantwortlichkeit in der Risikokommunikation mit Medien und (betroffener) Bevölkerung übertragen bekommen.

Aus dieser Fachberatungsfunktion tritt der ÖGD dann heraus und wird selbst agierender Teil der Gefahrenabwehrbehörde, wenn die Ursache des Katastrophenfalls sachlich zu dem Kanon der Aufgaben des medizinischen Gesundheitsschutzes gehört wie z.B. übertragbare Krankheiten, seien sie „natürlicher“ Ursache oder basieren sie auf einem bioterroristischen Hintergrund. Gleiches gilt bei der Emission von gesundheitsgefährdenden Schadstoffen nach (industriellen) Störfällen.

Um im Schadensfall einen reibungslosen Ablauf zu gewährleisten, ist ein hoher Planungs- und Abstimmungsbedarf nötig, der vorab die Etablierung einer Ablaufplanung und -organisation sowie deren Einübung verlangt. Tritt ein Ereignis ein, muss ein belastbares, vertikal etabliertes Kompetenzteam eine tragfähige Gefährdungsbeurteilung abgeben können.

Das Interdisziplinäre Expertennetzwerk Biologische Gefahrenlagen (ausführlich hierzu unter [www.bevoelkerungsschutz.de](http://www.bevoelkerungsschutz.de))<sup>3</sup> hat das Anliegen, Arbeits- und Einsatzgrundsätze zu definieren, die der besseren Zusammenarbeit von öffentlichen Einrichtungen und Hilfsorganisationen in biologischen Gefahrenlagen dienen. Die Erarbeitung von bundeseinheitlichen ressort- und länderübergreifenden Konzepten ist dabei auf die Aktivierung und Zusammenarbeit aller beteiligten Fachrichtungen und Disziplinen wie z. B. klinische Versorgung, Öffentlicher Gesundheitsdienst, Polizei, Feuerwehr, Bundeswehr, Rettungsdienste, Technisches Hilfswerk und Einrichtungen des Katastrophenschutzes angewiesen. Bisher divergierende Organisationsgrundsätze und Handlungsanweisungen bzw. Dienstvorschriften sollten zu einheitlichen

---

3 Umfassende, weiterführende nationale und internationale Literatur sowie weitere Links finden sich unter dieser Internet-Adresse.

Rahmenempfehlungen fachlich zusammengeführt und die wissenschaftliche Expertise gebündelt werden. Mitglieder des Netzwerkes sind u. a. das Robert Koch-Institut, das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, die Ständige Arbeitsgemeinschaft der Kompetenz- und Behandlungszentren, Fachgesellschaften und Hilfsdienste.

Am Beispiel hoch kontagiöser, lebensbedrohlicher Erkrankungen lassen sich für das kommunale Krisenmanagement folgende Grundsätze verdeutlichen (Gottschalk, 2005 und in diesem Band, Kapitel 1.5, S. 61):

Hoch kontagiöse, lebensbedrohliche von Mensch zu Mensch übertragbare Erkrankungen mit einer hohen Letalitätsrate sind u. a. viral-hämorrhagische Fieber wie Ebola-, Marburg-, Lassa-, Krim-Kongo- und Rift-Valley-Fieber, Affenpocken, Lungenpest. Diese Erkrankungen können aus allen Teilen der Welt z. B. über Reisende nach Deutschland gelangen.

Besteht der Verdacht, dass ein hoch fiebernder Patient mit zusätzlichen unspezifischen Symptomen an einer dieser Krankheiten leidet, ist der zuständige Dienstarzt des Gesundheitsamtes unverzüglich zu informieren. Der Dienstarzt des Gesundheitsamtes muss anhand des Anamnesebogens eine erste Einschätzung des Falles vornehmen und bei fortbestehendem Verdacht die Amtsleitung und die infektiologische Rufbereitschaft bzw. das zuständige Kompetenzzentrum informieren.

Die Amtsleitung muss sich in einem solchen Fall vergewissern, ob der Verdachtsfall begründet ist, ggf. Hilfe beim zuständigen Kompetenzzentrum einholen. Parallel dazu sind gemäß Alarmplan die weiteren beteiligten Institutionen und Behörden zu informieren, ebenso die Hauptgemeindebeamten. Die oberste Landesgesundheitsbehörde ist darüber hinaus unverzüglich zu informieren. Ebenso hat sich die Amtsleitung zu vergewissern, ob die notwendigen Schutzmaßnahmen für Personal und Umgebung eingeleitet wurden.

In Abhängigkeit von der Dimension der eingetretenen oder zu erwartenden Schadenslage ist zu entscheiden, welche Instanz die Gesamtkoordination der zu ergreifenden Maßnahmen zu übernehmen hat. Zusammenfassend ergeben sich folgende Schlussfolgerungen und Erfordernisse:

Die biologischen, chemischen, physikalischen und radioaktiven Herausforderungen im medizinischen Gesundheitsschutz bedürfen einer Vorsorgeplanung, die eine Gemeinschaftsaufgabe und Teil der (kommunalen) Daseinsvorsorge ist. Hierfür sind ständig aktualisierte Fachkompetenz und ausreichende Ressourcen unabdingbar.

Alle Gesundheitsschutz- und Gefahrenabwehrbehörden benötigen professionelle Kompetenz im Management eingetretener Schadensfälle. Vorsorgeplanungen einschließlich spezifischer Ablaufplanung und Übungen sind hierfür unabdingbare Voraussetzung. Der ÖGD, insbesondere der kommunale Gesundheitsdienst, ist Partner und beratender Teil der kommunalen Gefahrenabwehrbehörden. Der fachliche Beitrag und der Grad der Verantwortlichkeit des ÖGD innerhalb der Vorsorgeplanung und der Schadensfallbewältigung sind abhängig von der Fall- und Problemgestaltung.

## Literaturhinweise

GOTTSCHALK, R. (2005). Seuchenschutz durch den Öffentlichen Gesundheitsdienst am Beispiel von SARS. „Neue und hochinfektiöse Krankheitserreger“, 23.

PFENNIGER, E., HIMMELSEHER, S. & KÖNIG, S. (2004). Untersuchung zur Einbindung des Öffentlichen Gesundheitsdienstes in die katastrophenmedizinische Versorgung in der Bundesrepublik Deutschland, Zivilschutzforschung. „Schriftenreihe der Schutzkommission beim Bundesministerium des Innern“, 54.

## 1.5 Die Ständige Arbeitsgemeinschaft der Kompetenz- und Behandlungszentren

*René Gottschalk*

### Zusammenfassung

Die Bedrohung durch Seuchen hat auch in den Zeiten der modernen Medizin keineswegs nachgelassen. Im Gegenteil können auch Ausbrüche mit relativ geringen Fallzahlen schwerwiegende Folgen für die Ökonomie und das tägliche Leben in unserer hoch technisierten, auf maximale Mobilität ausgelegten Gesellschaft haben.

Viel häufiger als Epi- und Pandemien sind Einzelfälle von importierten, hochinfektösen und lebensbedrohlichen Krankheiten. Bei diesen Fällen ist jedoch die Gefahr einer ungehinderten Ausbreitung in unserer Bevölkerung zu befürchten, wenn die Krankheit zu spät erkannt wird und es beispielsweise über das medizinische Personal zu Folgefällen kommt, wie dies SARS im Jahre 2003 eindrucksvoll belegte.

Vor dem Hintergrund dieser Ereignisse wurden die Kompetenz- und Behandlungszentren in Deutschland geschaffen, deren zentrale Aufgabe es ist, durch ihr exzellent geschultes Personal und eine hervorragende medizinisch-technische Ausstattung eine optimale Behandlung der Patienten garantieren zu können und damit gleichzeitig die Verbreitung dieser Erreger zu verhindern. Der Zusammenschluss dieser spezialisierten Einrichtungen in der Ständigen Arbeitsgemeinschaft der Kompetenz- und Behandlungszentren (StAKoB) soll die Effizienz genauso wie die Effektivität der Zentren in Deutschland optimieren und die Standards der Ausstattung sowie Schulung und Training des Personals maximieren.

Mit diesen Einrichtungen unter dem Dach der StAKoB verfügt Deutschland über eine weltweit einzigartige Struktur zum Management dieser Erkrankungen, die ihre Professionalität schon mehrfach unter Beweis stellen konnten.

## Einleitung

Seuchen können sich heute mit ungleich größerer Geschwindigkeit ausbreiten als früher. In vorglobalen Zeiten konnten natürliche Grenzen wie Berge oder Meere, sogar Flüsse die Infektionsausbreitung verhindern bzw. verzögern. Geographische Besonderheiten stimmen häufig mit den Ländergrenzen überein, so dass sich manche Seuchen nicht ohne weiteres über die Ländergrenzen hinweg ausbreiten konnten.

Das Schiff als klassisches „Transportmittel“ für Infektionserreger spielt heute nur noch eine untergeordnete Bedeutung. In globalen Zeiten ist es beinahe ausnahmslos der Flugverkehr, der Epi- und Pandemien erzeugt. Hinzu kommt, dass der Mensch in den Ballungsgebieten, vornehmlich in Asien, aber auch in den Metropolen der anderen Kontinente, zunehmend auf immer kleineren Raum zusammengedrängt lebt. Zusammen mit den teilweise engen Lebensgemeinschaften mit (Haus-)Tieren, Armut, Unterernährung usw., kommt es zu idealen Entwicklungsbedingungen für das Entstehen neuer Mikroorganismen, die in Einzelfällen auch die Artengrenzen überwinden können und somit für den Menschen bedrohlich werden können. Dies insbesondere dann, wenn Erreger bis dato nicht beim Menschen aufgetreten sind und somit zunächst keine ausreichende immunologische Abwehr besteht.

## Hochinfektiöse, lebensbedrohliche Erkrankungen

Der Begriff „hochkontagiöse Erreger“ wird häufig synonym für die Erreger gleichzeitig lebensbedrohlicher Erkrankungen benutzt, also für Mikroorganismen, die eine hohe Infektiosität aufweisen und in der Regel zu schweren Krankheitsverläufen führen können. Wenn diese Erreger dann auch noch in der Lage sind, von Mensch zu Mensch transmissibel zu sein, dann liegt eine seuchenhygienisch bedeutsame Infektionserkrankung vor. Für den Begriff hochkontagiöse, lebensbedrohliche Erreger wurde im bis zum 31. Dezember 2000 gültigen Bundesseuchengesetz (BSeuchG) der Begriff „Erreger gemeingefährlicher Krankheiten“ verwendet, der das Wesen dieser Erkrankungen am besten beschreibt. In dem Begriff „gemeingefährlich“ ist bereits enthalten, dass diese Erreger eine große Herausforderung für den Schutz der Allgemeinbevölkerung darstellen. Im Folgegesetz, dem Infektionsschutz-



gesetz (IfSG) vom 20. Juli 2000, wird dieser Begriff nicht mehr verwendet (Bales & Baumann, 2003).

Die genaue Definition einer hochkontagiösen lebensbedrohlichen Infektions-erkrankung ist kürzlich von einer europäischen Arbeitsgruppe der EUNID (European Network of Infectious Diseases) definiert worden ([www.eunid.com/guidelines](http://www.eunid.com/guidelines)):

Eine hochkontagiöse, lebensbedrohliche Erkrankung

- ist von Mensch zu Mensch übertragbar,
- muss eine schwere Erkrankung mit hoher Letalität verursachen,
- muss eine große Gefahr für die Mitarbeiter der medizinischen Versorgungseinrichtung darstellen und
- bedarf spezifischer seuchenhygienischer Maßnahmen durch den Öffentlichen Gesundheitsdienst.

Insbesondere der letzte Punkt spiegelt, wie bereits erwähnt, eine wesentliche Eigenschaft dieser Erreger wider: Die längst vergessen geglaubten Seuchen stellen in der zunehmend globalisierten Welt Bedrohungen dar, für die Staatsgrenzen nicht existieren und die gemeinsame multilaterale Anstrengungen verlangen, um sie rechtzeitig eindämmen, zumindest aber begrenzen zu können. Für die Bevölkerung der betroffenen Länder kann dies zu deutlichen Einschränkungen ihrer persönlichen Rechte führen, bis hin zu Einschränkungen der Bewegungsfreiheit, wenn beispielsweise eine großräumige Quarantäne angezeigt ist.

Es handelt sich zumeist um Krankheiten, die entweder aus dem tropischen Ausland importiert wurden oder die durch Erreger verursacht sind, die akzidentiell durch einen Laborunfall freigesetzt wurden (Heymann, Aylward & Wolff, 2004) (siehe Tab 1). In jüngster Zeit wird auch zunehmend die Gefährdung durch die vorsätzliche Ausbringung als Biokampfstoff diskutiert (Gottschalk & Preiser, 2005a) (Graf, 2004).

Folgende Erreger und Erregergruppen werden dieser Gruppe hochgefährlicher Krankheitserreger zugeordnet:

1. Erreger viral-hämorrhagischer Fieber
  - Marburg-/Ebola-Virus
  - Krim-Kongo-hämorrhagisches Fiebervirus
  - Lassa-Virus
  - südamerikanische hämorrhagische Fieber wie Juninvirus, Machupovirus, Sabiavirus und Guanaritovirus
2. pandemische Influenzaviren
3. Pest (in natürlichen Endemiegebieten)
4. SARS-CoV
5. Viren der Orthopox-Gruppe
  - zum Beispiel Affenpocken, Kamelpocken
6. neu auftretende, hoch pathogene Erreger, einschließlich solcher Erreger, die absichtlich als Biokampfstoff freigesetzt werden, wie
  - Pest oder
  - klassische humane Pocken

Durch die Aufnahme des letzten Punktes bleibt die Aufzählung völlig offen, da hierdurch jeder neue Erreger, dessen Charakteristika vor allem in Hinsicht auf den Krankheitsverlauf noch unbekannt sind, automatisch hinzugezählt werden kann.

### **Kompetenz- und Behandlungszentren für hochinfektiöse, lebensbedrohliche Krankheiten**

Die Fallzahlen der nach Europa eingeschleppten Fälle an hochinfektiösen, lebensbedrohlichen Erkrankungen mögen numerisch gering sein, ihre Auswirkungen auf unsere Gesundheits- und Wirtschaftssysteme sind jedoch enorm. Eine Behandlung eines Patienten mit einem der oben aufgezählten Erreger kostet annähernd €10.000 pro Tag. Diese Summe errechnet sich aus dem großen Personalaufwand, der aufwändigen Therapie, den technischen Vorhaltungen und vielen anderen Posten. Der wichtigste Punkt ist hierbei, dass sich das medizinische Personal nicht selbst infiziert, was wiederum zu hohen Anforderungen an die persönliche Schutzausrüstung führt. Kommt es dennoch zu einer Übertragung von Erregern auf das betreuende Personal sind die Folgen

weitreichend und schwerwiegend, wie die SARS-Pandemie in Kanada deutlich aufgezeigt hat (Gottschalk, 2005). In der Tat waren die wirtschaftlichen Folgen dieses Ausbruchs für Kanada enorm: Der Einnahmenverlust im Bereich des Tourismus und durch Flugausfälle wird auf US \$ 950.000.000,- geschätzt, dabei war die hauptsächlich betroffene Region Toronto allein mit ca. US \$ 570.000.000,- betroffen (Gottschalk & Preiser, 2005b), (2003b). Viele Mitarbeiter in Pflegeberufen weigerten sich im Verlauf der Epidemie aufgrund der tatsächlichen oder möglichen eigenen Gefährdung SARS-Patienten zu betreuen, da ihnen in einigen Krankenhäusern keine ausreichende und adäquate Schutz-ausrüstung zur Verfügung gestellt wurde (2003a).

Die Kenntnis der infektiologischen Besonderheiten dieser Erkrankungen und ein beständiges Training mit der persönlichen Schutzausrüstung und den Gegebenheiten auf der Sonderisolierstation erhöhen die Arbeitssicherheit des Personals enorm. Dies führt zum einen zu einer höheren Überlebenschance für den Patienten, da ängstliche Mitarbeiter möglicherweise notwendige Eingriffe oder medizinische Handlungen am Patienten aus der – dann nicht unbegründeten – Sorge der eigenen Infektion nicht durchführen. Zum anderen ist durch den optimierten Personalschutz gleichzeitig sichergestellt, dass diese schwerwiegenden Infektionen sich nicht akzidentiell in der Bevölkerung ausbreiten.

Diese Aspekte dienen als Leitbild bei dem Konzept der so genannten Kompetenzzentren für hochkontagiöse, lebensbedrohliche Erkrankungen, das von der Zivil-Militärischen Fachgruppe Seuchenschutz erstmals 1999 vorgeschlagen wurde (Fock et al., 1999). Das primäre Ziel bestand darin, Patienten mit hochinfektiösen Erkrankungen über den Landweg in medizinisch vertretbarer Zeit in regional zuständige ausgewiesene und spezialisierte Kliniken zu transportieren, ohne die Bevölkerung dabei zu gefährden.

Als Beispiel ist hier der Aufbau des hessischen Kompetenzzentrums wiedergegeben (Gottschalk et al., 2002): siehe Abb. 4.

Das Kompetenzzentrum für hochinfektiöse, lebensbedrohliche Erkrankungen in Hessen (HKLE) ist ein Netzwerk verschiedener Institutionen und wurde 2001 vom Land Hessen etabliert.

- Die organisatorische Leitung obliegt dem Stadtgesundheitsamt Frankfurt am Main, dessen infektologisch und tropenmedizinisch ausgebildeten Mitarbeiter für konsiliarische Beratungen in Hessen und Rheinland-Pfalz, ggf. aber auch bundesweit zur Verfügung stehen.
- An der Universitätsklinik in Frankfurt wurde eine Sonderisolierstation geschaffen, die technisch und personell darauf ausgerichtet ist, Kranke mit einer hochkontagiösen, lebensbedrohlichen Erkrankung zu behandeln. Die Sonderisolierstation der Universität Frankfurt am Main zählt zu den weltweit modernsten Behandlungseinheiten ihrer Art. Für die Labordiagnostik stehen ebenfalls am Universitätsklinikum in Frankfurt am Main ein mikrobiologisches und virologisches Institut zur Verfügung, in denen sowohl die spezielle Diagnostik von Infektionen (z. B. Milzbrand) als auch wichtige Grundlagenforschungen über Charakter, Überlebensfähigkeit etc. von Keimen erfolgen können.
- Die Berufsfeuerwehr der Stadt Feuerwehr Frankfurt verfügt über ausgebildetes Personal und ein spezielles Fahrzeug, mit dem Kranke oder krankheitsverdächtige Personen transportiert werden können. Dieses Fahrzeug ist derzeit das modernste der Welt. Zusätzlich ist die Berufsfeuerwehr für die komplette Logistik und die persönliche Schutzausrüstung verantwortlich.
- Die Universität Marburg betreibt eines der wenigen Hochsicherheitslabore (BSL 4) in Deutschland, in dem diese besonders gefährlichen Erreger diagnostiziert und erforscht werden können. Alle Einrichtungen sind für Notfälle 24 Stunden erreichbar. Alle Proben werden zeitgleich auch an das BSL 4-Labor des Bernard-Nocht-Institutes in Hamburg geschickt.
- Wegen der besonderen Situation des weltweit siebtgrößten Flughafens sind zusätzlich die medizinischen Dienste der FRAPORT AG eingebunden (Gottschalk R., 2006).

Die Einrichtung der Isolierstation ist primär gedacht für die Versorgung von Einzelfällen; es können unter Sonderisolierbedingungen mit Unterdruckbelüftung durch HEPA-Filter maximal sechs Patienten intensivmedizinisch versorgt und gepflegt werden.

Auch in der Anfangsphase von Epidemien oder einer Influenzapandemie hat das Kompetenzzentrum wichtige Funktionen. Da in der hessischen Einrichtung alle wichtigen Forschungsrichtungen eingebunden sind, können in kürzester Zeit sowohl die für die seuchenhygienische Bekämpfung, als auch für die klinische Therapie notwendigen wissenschaftliche Daten erhoben

werden. Diese Erfahrungen können dann allen übrigen Kompetenzzentren zur Verfügung gestellt werden.

Weitere Versorgungseinrichtungen zur Behandlung derartiger Fälle finden sich auch in Berlin, Hamburg, Leipzig, München, Saarbrücken und Würzburg (s. Abb. 5).

Eine solche Vorhaltung ist insgesamt aufwändig, teuer und nicht durch das übliche Gebührensystem „refinanzierbar“, solange die Versorgung dieser schwerkranken und hochinfektiösen Patienten nicht regelhaft erforderlich ist. Die Einrichtungen sind daher ein gutes Beispiel für die Notwendigkeit der länderübergreifenden Nutzung der Strukturen. So ist das Kompetenzzentrum in Hessen durch ein Verwaltungsabkommen zwischen Hessen und Rheinland-Pfalz auch für dieses Bundesland zuständig, was die Effizienz deutlich verbessert. Leider gibt es noch nicht für alle Bundesländer Verwaltungsabkommen, sodass im Einzelfall die Übernahme von Patienten aus nicht assoziierten Ländern problematisch sein kann.

### **Ständige Arbeitsgemeinschaft der Kompetenz- und Behandlungszentren**

Alle Kompetenz- und Behandlungszentren haben sich in der „Ständigen Arbeitsgemeinschaft der Kompetenz- und Behandlungszentren“ (StAKoB) im März 2003 zusammengeschlossen. Die StAKoB versteht sich als eine unabhängige interdisziplinäre Arbeitsgemeinschaft von Experten auf dem Gebiet der klinischen Behandlung und des seuchenhygienischen Managements hochinfektiöser, lebensbedrohlicher Infektionskrankheiten und biologischer Schadenslagen.

In der StAKoB sind folgende Institutionen vertreten:

#### *Medizinische Kompetenz- und Behandlungszentren*

- Berlin
- Frankfurt am Main
- Hamburg
- Leipzig
- München
- Saarbrücken
- Würzburg

### *Überregionale Mitglieder*

- Robert Koch-Institut (RKI)
  - Informationsstelle des Bundes für Biologische Sicherheit
  - Zivil-Militärische Fachgruppe Seuchenschutz
- Sanitätsdienst der Bundeswehr
  - Tropenmedizinisches Zentrum Hamburg
- Medizinische Dienste des Auswärtigen Amtes

### *geplant*

- Ein(e) Vertreter/-in den L4-Laboratorien
- Ein(e) Vertreter/-in der Hygiene
- Ein(e) Vertreter/-in der Pflegedienstleitungen der Sonderisolierstationen

Die Zusammensetzung der Arbeitsgemeinschaft sichert eine hohe Expertise bei der Lösung der mit den Fällen verbundenen Probleme. Von dem selbst gestellten Aufgabenkatalog seien hier die folgenden Punkte näher ausgeführt:

### *Entwicklung von Trainings- und Ausbildungskonzepten*

Wie oben bereits erwähnt, ist das spezielle infektiologische Wissen und die beständige Übung aller medizinischen Mitarbeiter eine unabdingbare Voraussetzung für den Erfolg in der Behandlung der Patienten und zugleich für die Sicherheit des Personals. Aus diesem Grund werden alle Mitarbeiter in eigenen, in dem jeweiligen Zentrum entwickelten Schulungs- und Trainingsprogrammen regelmäßig trainiert. Das erste Trainingsprogramm dieser Art wurde in der Missionsärztlichen Klinik in Würzburg etabliert und vom RKI zertifiziert. Derzeit werden zusätzliche überregionale Trainings- und Ausbildungskonzepte entwickelt, die von allen Mitarbeitern der verschiedenen Zentren besucht werden sollen, um einen weitgehend homogenen Ausbildungsstand zu garantieren. Diese Schulungen stehen auch anderen interessierten Mitarbeitern offen, die nicht zu einem der Kompetenz- und Behandlungszentren gehören. Solche Schulungen werden derzeit in Frankfurt am Main, Leipzig und München durchgeführt und organisatorisch in Zusammenarbeit mit der Akademie für Krisenmanagement, Notfallplanung und Zivilschutz (AKNZ) des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) angeboten.

### *Empfehlungen zur Behandlung hoch infektiöser, lebensbedrohlicher Krankheiten*

Die Behandlung von Patienten mit hoch infektiösen, lebensbedrohlichen Erkrankungen ist schwierig und setzt große, auch intensivmedizinisch-infek-

tiologische Erfahrung voraus, die bei der geringen Fallzahl nur schwerlich in jedem Zentrum separat erworben werden kann. Behandlungskonzepte für die einzelnen Krankheiten gibt es somit nur vereinzelt, oft stammen die Daten aus den Endemieländern. Es wird daher versucht, das vorhandene Wissen zusammenzufassen und den jeweiligen Zentren zur Verfügung zu stellen.

#### *Gegenseitige personelle und materielle Unterstützung der Zentren (Ressourcenmanagement)*

Die wechselseitige Unterstützung ist eine der wichtigsten Säulen im System der StAKoB. Die Behandlung, auch von Einzelfällen, erfordert einen extremen Personalaufwand, der über längere Zeit immer zu Engpässen führen muss. Der im Juli 2006 in Frankfurt am Main behandelte Patient mit Lassa-Fieber war insgesamt annähernd drei Monate auf der Sonderisolation, bevor er in eine weiterbehandelnde Klinik verlegt werden konnte. Um diese Zeitspanne personell abzudecken, wurden ärztliche Mitarbeiter anderer Behandlungszentren, die sich freiwillig dazu bereit erklärten, auf der Frankfurter Station mit eingesetzt.

Neben dem wesentlichen Vorteil der Entlastung des Personalpools, können diese Ärzte ihr eigenes Wissen vertiefen und ihre Erfahrungen wiederum dem eigenen Zentrum zur Verfügung stellen.

#### *Wechselseitige Hospitationen und gemeinsame Übungen*

Wechselseitige Hospitationen und gemeinsame Übungen gehören zu den Zukunftsaufgaben der StAKoB. Durch den gegenseitigen Besuch der verschiedenen Zentren sollen alle Mitarbeiter die verschiedenen Vorgehensweisen, aber auch die unterschiedlichen technischen Gegebenheiten kennen lernen. Dies erleichtert den Personalaustausch, wie er oben beschrieben wurde, entscheidend.

#### *Erarbeitung und Festlegung von Qualitätsanforderungen*

Die Erarbeitung und Festlegung von Qualitätsanforderungen für die einzelnen Zentren soll eine über alle Zentren gleich bleibende Mindestanforderung an die technische Ausstattung und das Personal gewährleisten. Schwerpunkte liegen hierbei in der Möglichkeit, in den Behandlungsräumen einen differentiellen Unterdruck zu erzeugen und die Abluft über HEPA-Filter nach außen zu leiten. Außerdem ist die Ausstattung mit einer funktionstüchtigen und optimierten persönlichen Schutzausrüstung unabdingbar. Diese Punkte sind

insbesondere bei der Erarbeitung internationaler Konzepte wesentlich, da nicht nur in Europa eine bemerkenswerte Heterogenität in den verschiedenen Behandlungszentren besteht.

#### *Informationsaustausch mit anderen europäischen Zentren*

In einer Arbeitsgruppe der Europäischen Union, dem European Network for Infectious Diseases (EUNID), sind zwei Vertreter der StAKoB als ständige Mitglieder akkreditiert. In dieser Arbeitsgruppe werden die bereits oben beschriebenen Punkte europaweit bewertet und gemeinsame Konzepte erarbeitet, die einen hohen Standard in der Behandlung dieser Patienten garantieren sollen. Diese Standards reichen vom technischen Aufbau einer Sonderisolierstation über die persönliche Schutzausrüstung bis hin zu den Hygienevorgaben auf den Stationen. Die fertigen Konzepte dieser Gruppe, die erstmals 2005 zusammentrat, sollen bereits 2007 veröffentlicht werden.

Zur Ausbildung des Personals dieser Zentren wird gegenwärtig ein ebenfalls europaweites Trainingskonzept mit einer Förderung durch die Europäische Union entwickelt (European Training for Infectious Disease Emergencies, ETI-DE). Auch an diesem Projekt sind zwei Vertreter der StAKoB beteiligt.

Weitere Schwerpunkte der Arbeit, die hier nur cursorisch Erwähnung finden sollen sind:

- Vereinheitlichung und Standardisierung der Versorgungskonzepte in Deutschland
- Fragen der Vorhaltekosten und der Einsatz- bzw. Behandlungskosten

Erwähnenswert ist, dass sowohl die Organisationsform der Kompetenz- und Behandlungszentren als auch eine übergeordnete Arbeitsgemeinschaft wie die StAKoB weder in Europa noch in den USA etabliert wurden. Hinzu kommt, dass die Anzahl von Behandlungszentren in Deutschland weitaus größer ist, als in allen anderen vergleichbaren Ländern (Abb. 6).



## Ausblick

Der Erfolg dieses Konzeptes beruht auf der Integration aller wesentlichen, im Seuchenschutz verantwortlichen Institutionen. Die Schaffung einer gemeinsamen Arbeitsstruktur, wie sie die Ständige Arbeitsgemeinschaft der Kompetenz- und Behandlungszentren (StAKoB) darstellt, hat sich bereits sehr bewährt und wird bei den zukünftigen Herausforderungen ihre Leistungsfähigkeit weiter unter Beweis stellen können.

Eine im Auftrag des Bundesinnenministeriums durchgeführte Evaluation der katastrophenmedizinischen Versorgung kommt zu folgendem Ergebnis: „Die bisherige Arbeit der „Kompetenzzentren“ der Bund-Länder-Arbeitsgruppe hat sich in der Praxis bewährt. In den Fällen, bei denen „Kompetenzzentren“ zu Hilfe gerufen wurden, konnte schnell der Verdacht auf das Vorliegen einer hochkontagiösen Erkrankung ausgeräumt werden. Eine sonst notwendige zeit- und kostenintensive Isolierung der betroffenen Patienten ließ sich so vermeiden. Die nach dem 11. September 2001 aufgekommene Bedrohung durch Bioterrorismus in ihrer Auswirkung auf Deutschland (Milzbrandfehlalarme) hat gezeigt, dass die neue Struktur eines Wissens- und Kompetenzzentrums für hochinfektiöse, lebensbedrohliche Infektionserkrankungen durch die Verknüpfung von Öffentlichem Gesundheitsdienst, Diagnostik, Klinik, Feuerwehr und Krankenhaushygiene auch auf zunächst unerwartete infektiologische Situationen schnell und professionell reagieren kann.“ (Pfenninger, Himmelseher & König, 2004).

Um der StAKoB und den von ihr erarbeiteten Empfehlungen und Vorgaben in Zukunft das Mandat der Obersten Bundesbehörde zu geben, soll die Funktion der StAKoB bei der anstehenden Novellierung des IfSG benannt werden. Dies soll in Analogie zur Ständigen Impfkommision (STIKO) und zur Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) vorgenommen werden.

Deutschland verfügt durch die Schaffung der medizinischen Kompetenz- und Behandlungszentren und ihren Zusammenschluss in der Ständigen Arbeitsgemeinschaft (StAKoB) über ein weltweit einmaliges, bereits mehrfach gefordertes, erfolgreiches und belastungsfähiges Konzept zur Behandlung hochinfektiöser, lebensbedrohlicher Erkrankungen.

Datum	Land	Herkunftsland	Erkrankung	Falldaten	
04/96	CH	Brasilien	Gelbfieber	m/53	†
09/97	D	Ghana	V. a. Lassa	m/37	†
12/97	GB	Simbabwe	Krim-Kongo HF	w/78	†
08/99	D	Côte d'Ivoire	Gelbfieber	m/40	†
01/00	D	Ghana/B. Faso/Côte d'Ivoire	Lassafieber	w/23	†
03/00	GB	Sierra Leone	Lassafieber	m/50	†
03/00	D	Nigeria	Lassafieber	m/57	†
06/00	NL	Sierra Leone	Lassafieber	m/48	†
07/01	SCG	Kosovo	Krim-Kongo HF	69	6 †
03/03	D	Singapur	SARS	3	
07/03	RUS	Russland	Krim-Kongo HF	14	2 †
07/05	RUS	Russland	Krim-Kongo HF	16	1 †
07/05	TR	Türkei	Krim-Kongo HF	41	1 †
05/06	SCG	Kosovo	Krim-Kongo HF	3	1 †
07/06	D	Sierra Leone	Lassafieber	m/70	

† Patient(in) verstorben

m/w männlich/weiblich mit Alter; sofern nur Zahlen angegeben sind, handelt es sich um die Gesamtzahl aller Patienten des entsprechenden Ausbruchs. Die zweite Zahl gibt die Anzahl der Todesfälle an.

**Tab. 1: Importierte (Verdachts-)Fälle mit hochinfektiösen, lebensbedrohlichen Erkrankungen der letzten 10 Jahre in Europa**



Abb. 4: Aufbau des Kompetenz- und Behandlungszentrums für Hessen und Rheinland-Pfalz

## Kompetenz- und Behandlungszentren




-  Kompetenzzentrum
-  Behandlungszentrum
-  BSL 4-Labor  
(Das Labor beim RKI ist im Bau)



Abb. 5: Regionale Verteilung der Kompetenz- und Behandlungszentren in Deutschland  
Farben zeigen Bundesländer mit Verwaltungsabkommen an. Das BSL 4-Labor in Berlin ist derzeit im Bau (verändert nach R. Fock)

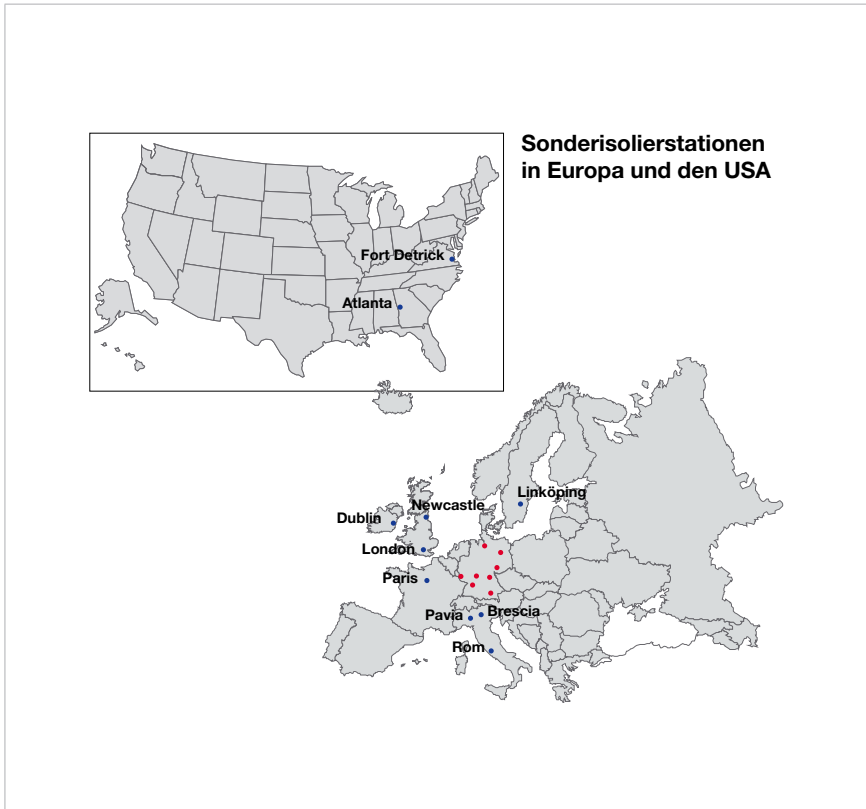


Abb. 6: Behandlungszentren in Deutschland (•), Europa und USA (•)

## Literaturhinweise

From the Centers for Disease Control and Prevention. Cluster of severe acute respiratory syndrome cases among protected health-care workers – Toronto, Canada, April 2003 (2003a). *JAMA.*, 289(21), 2788-2789.

SARS down but still a threat. (2003b). „National Intelligence Council Intelligence Community Assessment“.

BALES, S., BAUMANN, G. e. al. (2003). „Infektionsschutzgesetz, Kommentar und Vorschriftensammlung 2“. überarbeitete Auflage. Stuttgart, Kohlhammer.

FOCK, R., WIRTZ, A., PETERS, M., FINKE, E.-J., KOCH, U., SCHOLZ, D. et al. (1999). Management und Kontrolle lebensbedrohender hochkontagiöser Infektionskrankheiten. „Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz“, 42, 389-401.

GOTTSCHALK, R. (2006). Katastrophenschutz an internationalen Flughäfen. „Public Health Forum“, 51.

GOTTSCHALK, R. (2005). Seuchenschutz durch den Öffentlichen Gesundheitsdienst am Beispiel von SARS. „Neue und hochinfektiöse Krankheitserreger“, 23.

GOTTSCHALK, R. & PREISER, W. (2005b). Bioterrorism: is it a real threat? „Med. Microbiol.Immunol.“, 194(3), 109-114.

GOTTSCHALK, R., STARK, S., BELLINGER, O., BRODT, H. R., JUST, G., HELM, E. B. et al. (2002). Kompetenzzentrum für hochkontagiöse lebensbedrohliche Erkrankungen. „Hess Ärztebl, 5“, 307-310.

GRAF, P. (2004). [Bioterrorism – a challenge for public health services]. „Gesundheitswesen“, 66 Suppl 1, S52-S55.

HEYMANN, D. L., AYLWARD, R. B. & WOLFF, C. (2004). Dangerous pathogens in the laboratory: from smallpox to today's SARS setbacks and tomorrow's polio-free world. „Lancet“, 363(9421), 1566-1568.

PFENNINGER, E., HIMMELSEHER, S. & KÖNIG, S. (2004). Untersuchung zur Einbindung des Öffentlichen Gesundheitsdienstes in die katastrophenmedizinische Versorgung in der Bundesrepublik Deutschland. Schriftenreihe der Schutzkommission beim Bundesminister des Innern.





## 1.6 Infektionskrankheiten im Rahmen der Globalisierung

Möglichkeiten der Präventionen eines internationalen Flughafens  
am Beispiel der Fraport AG

*Walter Gaber*

### Zusammenfassung

Im Rahmen der Internationalisierung des Reiseverkehrs können sich hochinfektiöse Erkrankungen, welche bisher lokal auf eine Region o. a. Land begrenzt haben binnen weniger Stunden weltweit zu einem medizinischen „Disaster“ führen.

Die bisherigen, langwierigen Reiserouten über Land sind abgelöst durch das schnelle Transportmedium des Flugverkehrs. Infektionskrankheiten wie Lassa Fieber und auch die schnelle Verbreitung von SARS führten zu einer erhöhten Sensibilisierung der internationalen Experten im Bereich der Seuchenabwehr. Der Frankfurter Flughafen mit jährlich über 50.000.000 Passagieren; hiervon wiederum über 50% Umsteiger für andere Zielflughäfen europaweit ist ähnlich wie London und Paris einer der internationalen Drehscheiben (Hubs), welcher bei der Intervention von Infektionskrankheiten eine hohe Priorität zukommt.

In enger Kooperation mit den Airlines und den zuständigen Gesundheitsbehörden werden seit vielen Jahren koordiniert durch den medizinischen Dienst der Fraport AG (Betreiberin des Flughafens) kontinuierlich Verfahren (SOPs = Standard Operation Procedures) entwickelt und modifiziert um Infektionskrankheiten frühzeitig zu erkennen, Maßnahmen zur Eindämmung zu ergreifen und die deutsche Bevölkerung schnellstmöglich zu schützen bzw. die gesundheitliche Gefährdung auf ein Minimum zu reduzieren.

Am Beispiel von SARS wird exemplarisch die Notwendigkeit von SOPs, Möglichkeiten der Erkennung sowie die unterschiedlichen Möglichkeiten der Desinfektion von Großraumflugzeugen vorgestellt und kritisch diskutiert.

Schwachstellen bedingt durch die internationalen Schnittstellen (Airlines, Länder, Behörden u. a.m.) werden aufgezeigt und Lösungen diskutiert.

Obwohl der genaue Zeitpunkt und das Ausmaß einer zukünftigen Influenza-Pandemie nicht exakt vorausgesagt werden können, gibt es zur Zeit nach Einschätzung der Experten der WHO deutliche Anzeichen für eine bevorstehende Pandemie von der Schlagkraft der „Spanischen Grippe“, welche im Winter 1918/1919 weltweit bis zu 50 Millionen Todesopfer gefordert hat.

Insbesondere das endemische Auftreten der Geflügelpest in zahlreichen Ländern Südostasiens im Jahre 2004/2005 birgt das Risiko einer Neukombination von aviären und humanen Influenzaviren und damit die Gefahr eines pandemischen Virus bei fehlender Bevölkerungssimmunität und nicht oder nicht in hinreichender Menge zur Verfügung stehendem Impfstoff.

Beginnend mit der SARS Ausbreitung in 2003 wurden allen medizinisch und politisch Verantwortlichen erstmalig in aller Deutlichkeit die enorme Sensibilität und Empfindlichkeit von Viruserkrankungen im Rahmen einer globalen Ausbreitung binnen weniger Tage veranschaulicht.

Nicht nur die persönliche Betroffenheit im Rahmen einer möglichen Erkrankung, sondern auch die „Kaufleute“ im Rausch von Benefit und Share Holder Value etc. mussten erkennen, dass bei konsequenter Kostenreduktion im Gesundheitswesen weltweit eine qualifizierte Reaktion zum Schutz der Menschen und des wirtschaftlichen Gutes nicht mehr zu gewährleisten ist.

Eine Risikoanalyse für Deutschland bei Auftreten einer Pandemie (Meltzer MI, Damon I, LeDucJW & Millar JD, 2001) geht im günstigsten Fall von einer 15%-igen, im ungünstigsten Fall von einer 50%-igen Erkrankungsrate aus.

Dies bedeutet selbst bei einer konservativen Schätzung im günstigsten Fall:

- 6.000.000 zusätzliche Arztbesuche,
- 180.000 Krankenhauseinweisungen und
- 48.000 Influenza bedingte Todesfälle.

Ein derartiges Szenario würde zwangsläufig binnen kurzer Zeit zu einer Überforderung des Gesundheitssystems und der ökonomischen Infrastruktur führen und einen hohen volkswirtschaftlichen Schaden nach sich ziehen.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Erreger, die noch nie zuvor beim Menschen aufgetreten sind</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• HIV</li> <li>• Influenza A-Virus-Subtypen</li> <li>• Ebolavirus, SARS-CoV</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Neue entdeckte Erreger bekannter Erkrankungen:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kaposi-Sarkom-assoziiertes Herpesvirus</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Erreger, deren Bedeutung aufgrund steigender Zahlen beispielsweise immungeschwächter Patienten zunimmt:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zytomegalievirus</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Erreger, die sich in neue geografische Gebiete ausbreiten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• West-Nil-Virus</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Erreger, die zunehmend mehr Menschen infizieren</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Denguevirus</li> <li>• Chikungunyavirus</li> </ul> </li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Erreger, die nach längerem „Untertauchen“ wieder als Krankheitskeime in Erscheinung treten</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pocken</li> <li>• Pest</li> </ul> </li> </ul>

verändert nach B. Ludwig et al Review. Intervirology. 2003; 46(2): 71–78

## Übersicht 1: Infektionskrankheiten (Folie: PD Gottschalk, Frankfurt)

### In vier Tagen um die Erde

Im Rahmen der Globalisierung müssen wir in Europa davon ausgehen, dass Infektionsausbrüche auf anderen Kontinenten binnen 48 Stunden eine erhebliche Bedrohung unserer Bevölkerung darstellen.

Der internationale Reiseverkehr mit immer besseren Verbindungsflügen, kürzeren Reisezeiten und besseren Reiseanbindungen birgt die Gefahr, dass insbesondere unter zusätzlicher Berücksichtigung der so genannten Connecting Flights (Umsteigeranteil in Frankfurt liegt bei 50 Prozent; d.h. 25.000.000 Passagiere/Anno ) der großen Hubs wie Paris, London und Frankfurt eine schnelle Vermischung von internationalen Passagieren in Europa stattfindet, welche nur ein Bedürfnis haben :

So schnell wie möglich nach Hause zu reisen und sich dort vor Ort einem Mediziner anzuvertrauen, welcher ihre Sprache spricht, ihre kulturellen Bedürfnisse berücksichtigt und ein Gefühl der Geborgenheit vermittelt.

Dies bedeutet eine erhebliche Gefahr für alle Mediziner, welche im Rahmen der Bekämpfung von globalen Infektionskrankheiten national und international auf Kooperation der Patienten, möglicher Patienten und Behörden angewiesen sind.

### **Pre-Entry – Screening versus Exit – Screening**

**Wie sinnvoll sind so genannte Preentry Screenings bzw. wie sinnvoll sind Exit Screenings beim Betreten/Verlassen eines Landes?**

**Welche Form des Screenings soll/muss durchgeführt werden?**

Im Rahmen der Vogelgrippe ist die hundertprozentige Warenkontrolle von Passagieren mit Handgepäck und Gepäck von Flügen aus Risikogebieten am Frankfurter Flughafen sehr erfolgreich gewesen. Bei den Passagieren, insbesondere aus asiatischen Gebieten, wurden pro kontrollierten Flug bis zu 100 kg tierische Produkte beschlagnahmt, die als mögliche Infektionsquelle klassifiziert waren.

Besondere Bedeutung der Kontrollen wird aus der Situation abgeleitet, dass die Reisenden schon am Abflugort in ihrer Landessprache auf das Einfuhrverbot hingewiesen wurden.

#### *Resümee*

Warenkontrollen müssen in verstärktem Umfang durchgeführt werden, da die Passagiere bestehende Restriktionen nicht zur Kenntnis nehmen und bewusst/unbewusst gegen diese Auflagen verstoßen.

## **Wie und in welchem Umfang sollen bzw. müssen Passagiere während des Fluges und/oder nach der Landung kontrolliert werden?**

Erfahrungen bei SARS in Asien haben gezeigt, dass das Screening von Passagieren (Temperaturmessung) aus Sicht des Autors sehr wohl seine Berechtigung hat, obwohl bei der Auswertung vom Temperatur Screening in Hongkong bei immerhin 440.000 Passagieren lediglich ein Passagier hospitalisiert wurde; dieser wiederum nicht an SARS erkrankt war.

Diese Ergebnisse auf einem internationalen Flughafen sind aus Sicht des Autors nicht repräsentativ – insbesondere unter Berücksichtigung der Selektion von Menschen, die sich auf einem Flughafen aufhalten.

Bei den „gescreenten“ Personen am Flughafen handelte es sich bis zu 60 Prozent um „Geschäftsfieger“, die wiederum nicht zur medizinischen Zielgruppe gehören. Die restlichen 40 Prozent der Touristen haben sich ebenfalls nicht in den definierten Risikogebieten aufgehalten.

Dennoch war diese Temperaturmessung in Asien eine der wenigen Möglichkeiten Risikopatienten frühzeitig zu selektieren, Isolationsbereiche (Gebäude, Straßenzüge) zu definieren und dennoch ein geregeltes Alltagsleben sicherzustellen.

### **Screening auf deutschen Flughäfen**

Aus Sicht des Autors muss – in Abhängigkeit der Gefährdung (sofern das Krankheitsbild bekannt ist) – sehr differenziert unterschiedliche Möglichkeiten eines Screenings diskutiert werden.

Möglicherweise werden die Experten auf Grund des politischen Druckes keine Alternative hierzu haben auch wenig sinnvolle Maßnahmen zu ergreifen.

Reduziert man das Problem und die Diskussion auf die Betrachtung aus dem Blickwinkel der Medizin, so gibt es einige Möglichkeiten der medizinischen Intervention, sofern folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

- Kein Boarding von offensichtlich kranken Patienten o.a. mit medizinischen Attest (Unbedenklichkeitsbescheinigung); dies liegt im Verantwortungsbereich der Airlines und muss über eine Bundesbehörde initiiert werden (Bundesverkehrsministerium)
- Information gemäß den Auflagen der International Air Transport Association (IATA) durch den Kapitän an den Zielflughafen
- Schnellstmögliche Information der zuständigen Gesundheitsbehörden (Sanitary Airport) durch die Airlines bzw. Airports
- Möglichkeiten der räumlichen Isolation des Flugzeuges durch die Airports
- Möglichkeit für eine zeitlich befristete, geordnete Quarantäne am Flughafen oder aber Flughafennähe durch die Gesundheitsbehörden in enger Absprache mit den Airports
- Sicherstellung von ausreichend Security durch die zuständigen Behörden (Bundespolizei, Landespolizei)
- Vorhaltung von Schutzkleidung für medizinisches Personal sowie Funktionskräften in ausreichender Zahl durch die Gesundheitsbehörden

Im Rahmen von Absprachen muss bereits vor Aktivierung von Verfahren (Procedures) die originäre Zuständigkeit definiert werden und allen Verantwortlichen, welche unmittelbar betroffen sind, mitgeteilt werden.

Dies sind u.a. die Airline-Vertreter über den Verband Airline Operation Committee (AOC), Flughafenvertreter wie Medizinische Dienste, Security, Terminal Betrieb, Notfallmanagement, Bundespolizei, Landespolizei, Gesundheitsamt, Kompetenzzentrum, Seuchenreferentin, Innenministerium sowie Vertreter der zuständigen Rettungsorganisation (z.B. Branddirektion in Frankfurt/M).

## **Vorgehen**

Am Flughafen Frankfurt gibt es bis zu 1200 Flugbewegungen mit bis zu 300 Passagieren pro Flug, wobei wiederum 50 Prozent zu den Umsteigepassagieren gehören. Die Besonderheit der Transitpassagiere besteht in der kurzen Umsteigezeit von 45 Minuten, die den Frankfurter Flughafen für internationale Gäste so attraktiv macht.

Bedingt durch diese Rahmenbedingungen besteht bei dem Wunsch nach einem reibungslosen Ablauf des Flugbetriebes ein erhebliches Bedürfnis bei allen Beteiligten nach standardisierten Verfahren, die eine schnelle, qualifizierte Abwicklung und Betreuung sicherstellen.

Diese Verfahren wurden unter Federführung der medizinischen Dienste des Flughafens in enger Kooperation insbesondere mit dem Kompetenzzentrum der Stadt Frankfurt entwickelt und steht den Behörden wie auch anderen Flughäfen zur Verfügung (siehe auch [www.EAGOSH.com](http://www.EAGOSH.com)).

Die Verantwortlichen müssen frühzeitig entscheiden wie und in welchem Umfang sie unter Berücksichtigung der Rechtsgrundlage in den internationalen Flugverkehr eingreifen und die Abläufe unterbrechen.

### **Beispiel 1:**

Temperatur scannen (analog Hongkong SARS, 2003)  
d. h.

- Mind. 2 Mitarbeiter der Behörde pro Gate/Schicht (Summe: 360 Mitarbeiter/Tag)
- Materialkosten (Hand scannen; Maschinelle Scannung x 60 Gates)
- Catering für 360 Mitarbeiter im Drei-Schichtbetrieb
- Zeitaufwand pro Passagier mit Befragung/ohne Dokumentation ca. 5 Minuten x 300 Passagiere (12,5 Stunden/bei 2 Mitarbeitern)

### *Anmerkung:*

Im Regelfall kommen aus Infektionsgebieten (siehe SARS, Avian Flu) bis zu 30 Flieger pro Tag.

### **Beispiel 2:**

Körperliche Untersuchung durch einen Mediziner

- Mindestens 2 Ärzte pro Gate (60 x 2= 120 Ärzte, bei 12 Std. Schicht)
- Reduktion auf Krisengebiete (30 Flieger /Tag); d. h. Konzentration auf sog. Sammelstellen (5 zentrale Kontrollstellen) immerhin noch 5 x 2 Ärzte
- Räumlichkeiten werden durch den Flughafenbetreiber zur Verfügung gestellt

- Alle externen Experten müssen gemäß den neuen Sicherheitsbestimmungen (1.1.2005) sicherheitsüberprüft sein durch die zuständigen Behörden (bisherige Dauer : 14 Tage).

## Resümee

Ein internationaler Verkehrsflughafen ist gekennzeichnet durch eine Vielzahl von hochkomplexen Vernetzungen unterschiedlicher Experten, Unternehmen mit Direktiven aus den Heimatländern (Vertraulichkeit, interne Procedures), kulturell und national unterschiedlichen Bedürfnissen und Vorgaben von Bundesbehörden, welche angemessen zu berücksichtigen sind.

Nur eine enge, kooperative Verzahnung dieser verantwortlichen „Keyplayer“ stellt sicher, dass ein internationaler Flughafen – wenn auch mit geringen Einschränkungen – weiterhin den Flugverkehr und die lebenswichtige Versorgung mit Fracht (z. B. Medikamente, medizinischem Equipment, Expertentransfer) gewährleistet.

Die Schließung von großen HUBS wie London, Paris und Frankfurt zur Vermeidung u. o. Eindämmung von globalen Infektionskrankheiten, wie sie z. B. in unterschiedlichen Computermodellen als eine Möglichkeit dargestellt werden, die Bevölkerung zu schützen, ist aus Sicht des Autors nicht realistisch und ineffizient.

Internationale Airlines werden im Regelfall ihren Flugbetrieb nur in Ausnahmefällen einstellen. Airlines sind in der Lage durch ihre internationale Vernetzung bei Schließung von einzelnen HUBS binnen drei Tagen Ausweichflughäfen weltweit zu vernetzen und die Passagierströme somit über kleinere Flughäfen nach Deutschland zu verbringen.

Dieser resultierende Prozess aus Restriktionen wäre fatal für den Schutz der Bevölkerung, da zum gegenwärtigen Zeitpunkt ausschließlich die großen Verkehrsflughäfen über eine ausreichende Logistik und medizinische Netzwerke verfügen, um die möglichen Patienten qualifiziert zu betreuen.

Vielmehr muss es gelingen die internationalen Experten durch die betroffenen Länder soweit zu unterstützen, dass ein primär **lokales Problem** mit aller



Macht; d. h. Manpower, Experten, Material und Logistik **vor Ort** zu bekämpfen und somit der Globalisierung von Infektionskrankheiten zu begegnen.

## Influenza – Pandemie

Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Entwicklung einer Pandemie derzeit durch antiepidemische oder seuchenhygienische Maßnahmen zu verhindern ist, da wegen der hohen Kontagiosität und der Übertragung durch Einatmen von Expirationstropfen eine rasche Verbreitung zu erwarten ist, zumal eine Ansteckungsfähigkeit bereits – anders als bei SARS – kurz (< 24 Stunden) vor Auftreten der klinischen Symptomatik beginnt.

<b>Außer dem Flugzeug in Frage kommende Infektionsorte:</b>
<p><b>1. Vor dem Betreten der Maschine</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anstehen am Flughafenschalter</li> <li>• Warten im Bereich des Flugsteigs</li> <li>• Zugang zum Flugzeug über „Finger“, bzw. Bus-Transport zum Flugzeug</li> </ul>
<p><b>2. Nach dem Verlassen der Maschine</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausstieg über „Finger“, bzw. Bus-Transport zum Flughafen</li> <li>• Pass- und Zollkontrolle</li> <li>• Warten an der Gepäckausgabe</li> </ul>

### Übersicht 2: Mögliche Infektionsorte

## Prophylaxe

Die wichtigste prophylaktische Maßnahme, wie z. B. bei einer Influenza-Pandemie, ist die rechtzeitige Impfung.

Bedauerlicherweise sind hierfür Impfstoffe frühestens fünf bis sieben Monate nach Charakterisierung des Pandemie-Stammes verfügbar, sodass in diesem Zeitraum mit einer erhöhten Anzahl von Erkrankungen und Todesfällen (2003 starben in der Bundesrepublik 15.000 Menschen an der „Grippe“) gerechnet werden muss.

Eine weitere Möglichkeit besteht in einer medikamentösen Prophylaxe mit antiviralen Mitteln vom Typ der Neuraminidasehemmer (z. B. „Tamiflu“) welches auch zur Prophylaxe zugelassen ist.

Die Lieferzeit für Medikamente betragen jedoch gegenwärtig sieben bis zwölf Monate und es ist wahrscheinlich, dass die Medikamente im Pandemiefall nicht ausreichend verfügbar sind. Auch die öffentliche Versorgung (medizinisches Versorgungssystem!) ist nicht gewährleistet, obwohl bereits die Bundesregierung und die Landesregierungen Medikamente in unterschiedlicher Anzahl (bis zu 15 Prozent der jeweiligen Bevölkerung) bevorraten.

Darüber hinaus sind grundlegende hygienische Regeln zu beachten und bei Ausbrüchen auch der Einsatz persönlicher Schutzausrüstung sicherzustellen, insbesondere Partikel filtrierende Halbmasken der Klasse FFP2 und FFP3 geben aus Sicht des Autors einen erhöhten Schutz.

### **Forderungen an den öffentlichen Gesundheitsdienst und die politisch Verantwortlichen national wie auch international**

#### **Konsequenzen (Flugverkehr)**

Literaturstelle: Gaber W, Götsch U, Diel R, Doerr HW, Gottschalk R Screening for Infectious Diseases at International Airports: "The Frankfurt Model" Aviat Space Gaber W, Götsch U, Diel R, Doerr HW, Gottschalk R Screening for Infectious Diseases at International Airports: "The Frankfurt Model" Aviat Space Environ Med 2009;80:595-600.

- Die Kontakteinteilung in verschiedene Kategorien ist im Flugverkehr sinnlos.
- Bei relevantem Übertragungsrisiko ist die Anordnung von Quarantänemaßnahmen für Kontaktpersonen am Ort oder zu Hause sinnvoll.
- Bei hochkontagiösen, lebensbedrohlichen Erkrankungen mit kurzer Inkubationszeit sind alle Passagiere **am Ort** unter strenge Quarantäne zu nehmen.
- Bei unbekanntem Erregern richtet sich das Vorgehen nach dem aktuell vorhandenen Wissen.

#### **Übersicht 3: Forderungen an die Airlines und Behörden**

## Forderungen an Airlines und Behörden

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherstellung der Passagierlisten mit ausführlichen Daten für mindestens zehn Werktage</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sicherstellung der Verantwortlichkeit der Fluggesellschaften, keine kranken Passagiere an Bord zu nehmen               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Treatment and prevention at the front – keep it where it started</li> </ul> </li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erarbeitung eines Maßnahmenkataloges durch eine Expertengruppe unter Einbeziehung von Fluggesellschaften, Flughafenbetreibern und Gesundheitsbehörden</li> </ul>  |

### Übersicht 4: Passagierlisten

Lange Zeit glaubten alle Experten, dass man über die Passagierlisten Risikopatienten identifizieren kann und diese Listen wesentlich dazu beitragen weiterführende Maßnahmen zu initiieren. Dem ist bedauerlicherweise nicht so!

Diese Listen, auch wenn sie vorliegen, sind leider in keiner Weise hilfreich für die Experten, die auf dieser Grundlage möglicherweise Fehlentscheidungen treffen. Entweder sie liegen nicht zeitgerecht vor o.a. die Passagiere setzen sich während des Fluges um und sie sind beim Deborden nicht kooperativ bei ihren Angaben, da sie schnellstmöglich das Flugzeug verlassen möchten.

Vielmehr muss der zuständige Arzt der Behörde sich unmittelbar vor Ort im Flugzeug – unter Berücksichtigung des Eigenschutzes – einen ersten Eindruck verschaffen, um dann die richtigen Entscheidungen zu treffen. Eine Kommunikation zum medizinischen Lagezentrum muss bereits zu diesem frühen Zeitpunkt z. B. durch die technische Einsatzleitstelle sichergestellt sein.

*Weitere zwingend notwendige Maßnahmen:*

- „Normale“ Grippeimpfung aktiv bewerben in der Bevölkerung mit Unterstützung der Industrie
- Unterweisungen mit Unterstützung der öffentlichen Medien hinsichtlich der Übertragungswege und der zu beachtenden Schutzmaßnahmen

- Risikoabschätzung und ggf. persönliche Bevorratung von antiviralen Mitteln und persönlicher Schutzausrüstung für hochgefährdete oder für die öffentliche Versorgung prioritäre Beschäftigungsgruppen (z. B. Gesundheitsdienst, Personennahverkehr, Energie- und Wasserversorgung) und Personen mit besonderen Risiko-Konstellationen
- Frühzeitige Erarbeitung von Informationsblättern mit einer Liste von Verhaltensregeln sowie einer Checkliste zur Erfassung von erkrankten Mitarbeitern in den Betrieben und Dokumentation der Symptome/Befunde und veranlassten Maßnahmen
- Erstellung eines Stufenplans in den Unternehmen und interne Einrichtung eines Krisenstabs, der jeweils aktuell z. B. auf Vorschlag des Betriebsarztes zusammenkommt und Maßnahmen festlegt (z. B. Beurlaubung von Azubis, Meetings und Reisen nur bei vitaler geschäftlicher Notwendigkeit, Einstellung des Kantinenbetriebs, Abschalten raumlufttechnischer Anlagen etc.)
- Durchführung einer antiviralen Therapie bei akut erkrankten Beschäftigten, falls entsprechende Mittel im Unternehmen bevorratet worden sind
- Auswahl separater Räume zur Beratung, Diagnostik und Ersttherapie akut erkrankter Beschäftigter und Bevorratung des erforderlichen Materials (Thermometer, Masken, Kittel, Handschuhe, Schutzbrillen, Desinfektion, Rachenabstrich etc.)
- Sicherstellung der Erstversorgung z. B. durch Einbindung freiwilliger Ersthelfer, da Erkrankungen des ärztlichen Personals nicht auszuschließen sind
- Durch pro-aktives Handeln können die Ärzte in den Unternehmen durchaus an der Eindämmung einer Pandemie mitwirken und die gesundheitlichen Risiken für die Beschäftigten und die wirtschaftlichen Folgen für den Betrieb minimieren

## Resümee

Globale Infektionskrankheiten werden auf unterschiedlichen Wegen die deutsche Bevölkerung bedrohen.

Durch den internationalen Flugverkehr müssen wir jedoch davon ausgehen, dass die ersten Patienten binnen 48 Stunden auf einem der großen Flughäfen ankommen.

Bedrohlicher wird die Bewertung unter Kenntnis, dass z.B. in Frankfurt 50 Prozent der Passagiere so genannte Transitpassagiere sind und via Frankfurt andere europäische Destinationen anfliegen.

Nur eine enge nationale und internationale Vernetzung der Experten seitens der Behörden und der Industrie kann sicherstellen, dass das gemeinsame Bemühen nach Unversehrtheit der Bevölkerung ermöglicht wird.

## Literaturhinweise

MELTZER, M. I., DAMON, I., LEDUC, J. W. & MILLAR J. D. (2001). Modeling Potential Responses to smallpox as a bioterrorist weapon. „*Emerging Infectious Diseases*, 7“, 959-969.

### *Weitere Informationen:*

Beschluss 609 „Arbeitsschutz beim Auftreten von Influenza unter besonderer Berücksichtigung des Atemschutzes“ des Ausschusses für biologische Arbeitsstoffe

Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 3.2005: Influenzapandemieplanung – Nationaler Influenzapandemieplan

[www.influenza.rki.de/agi](http://www.influenza.rki.de/agi)

[www.cdc.gov](http://www.cdc.gov)

[www.eagosh.com](http://www.eagosh.com)

[www.rki.de](http://www.rki.de)

[www.who.gov](http://www.who.gov)

## 1.7 Vorbereitung auf eine biologische Großschadenlage: Der Pockenrahmenplan<sup>4</sup>

*Klaus Riedmann · Julia Sasse*

### Zusammenfassung

Nach den Ereignissen des 11. September 2001, den Anthrax-Anschlägen in den USA und der sich anschließenden weltweiten Serie von Anthrax-Drohbriefen wurde auch in Deutschland eine im Hinblick auf mögliche bioterroristische Anschläge vorhandene Bedrohungslage in Betracht gezogen. In diesem Zusammenhang wurden an erster Stelle das bereits erwähnte Anthrax sowie Pocken als mögliche Erreger mit dem höchsten Gefährdungspotential genannt. Auf Wunsch der Länder wurde das Robert Koch-Institut (RKI) durch das Bundesministerium für Gesundheit (BMG) beauftragt, zusammen mit Vertretern der Länder und Fachgesellschaften koordinierend ein Rahmenkonzept zu erarbeiten, das die notwendigen fachlichen Vorbereitungen und Maßnahmen zur Seuchenbekämpfung nach bioterroristischen Anschlägen mit Pocken beschreiben sollte.

Das Rahmenkonzept zeigt die für das seuchenhygienische Management notwendigen Handlungsschritte auf und stellt den organisatorischen, personellen und materiellen Bedarf dar. Es gibt Empfehlungen mit dem Ziel einer möglichst bundeseinheitlichen Praxis, über die die Bundesländer zu entscheiden und dabei insbesondere die unterschiedlichen Rahmenbedingungen auf Landes- und kommunaler Ebene zu berücksichtigen haben. Folgende thematische Schwerpunkte werden umfassend abgedeckt: Diagnostik, seuchenhygienische Maßnahmen, Organisation von Schutzimpfungen und Behandlung. Das Rahmenkonzept wird ergänzt durch einen umfangreichen Anhang, der neben praxisrelevanten Hilfsmitteln wie Impflisten, Fragebögen usw. Informationen zum Umgang mit Erkrankten und Kontaktpersonen sowie zum Probenversand und zur Diagnostik enthält.

---

4 Die vorliegende Publikation reflektiert und komplettiert den auf der German Bio Safety am 15. September 2006 von K. Riedmann gehaltenen Vortrag und stellt eine Aktualisierung der in der Zeitschrift DER MIKROBIOLOGE durch die beiden Autoren erfolgten Erstveröffentlichung dar [Riedmann/Sasse 2003].

## Einführung

Im Nachgang zu den Ereignissen des 11. September 2001, den Anthrax-Anschlägen in den USA und der sich anschließenden weltweiten Serie von Anthrax-Drohbriefen wurde auch in Deutschland eine im Hinblick auf mögliche bioterroristische Anschläge vorhandene Bedrohungslage in Betracht gezogen. In diesem Zusammenhang wurden an erster Stelle das bereits erwähnte Anthrax sowie Pocken als mögliche Erreger mit dem höchsten Gefährdungspotential genannt. Aufgrund der quasi realen Bedrohung durch Anthrax seit Ende 2001 wurden seitens der zuständigen Behörden entsprechende Empfehlungen zum Management derartiger Ereignisse veröffentlicht ([www.rki.de](http://www.rki.de) -> Infektionsschutz -> Biologische Gefahren). Gleichzeitig wurde das Robert Koch-Institut (RKI) durch das Bundesministerium für Gesundheit (BMG) beauftragt, zusammen mit Vertretern der Länder und Fachgesellschaften koordinierend ein Rahmenkonzept zu erarbeiten, das die notwendigen fachlichen Vorbereitungen und Maßnahmen zur Seuchenbekämpfung nach bioterroristischen Anschlägen mit Pocken beschreiben sollte.

Eine erste Fassung dieses Rahmenkonzepts wurde im Juni 2002 während eines Bund-Länder-Workshops am RKI vorgestellt. In dessen Folge wurden vier Bund und Länder übergreifende Arbeitsgruppen gebildet, die sich vertiefend mit den folgenden vier Schwerpunkten befassten:

- Diagnostik
- Behandlung
- Organisation von Impfungen und
- Seuchenhygienische Maßnahmen

Die Ergebnisse wurden auf einem zweiten Workshop im Oktober 2002 diskutiert und sind nach weiteren Abstimmungsprozessen in ein Gesamtdokument integriert worden, das den Ländern am 20. März 2003 übermittelt worden ist. Dieses Dokument wird – der aktuellen Diskussion sowie den neuesten Erkenntnissen und Entwicklungen folgend – fortgeschrieben.



## Das Phasenmodell

Die Überlegungen und Empfehlungen des RKI basieren auf einem Phasenmodell, das drei Phasen unterscheidet.

- Phase 1 kein Pockenfall weltweit
- Phase 2 erster Pockenfall weltweit
- Phase 3 erster Pockenfall in Deutschland<sup>1</sup>

Derartige Modelle dienen als Hilfsgerüst für eine idealtypische Planung und suggerieren einen chronologischen Ablauf wie er so in der Realität nicht unbedingt zu erfolgen hat. So ist beispielsweise ein direkter Übergang von Phase 1 in Phase 3 denkbar. Soweit erforderlich sind die im Rahmenkonzept formulierten Empfehlungen diesen Phasen angepasst, wenngleich ein Großteil der dafür notwendigen Voraussetzungen bereits in Phase 1 vorbereitet bzw. erfüllt werden muss.

Das Rahmenkonzept gliedert sich in vier Hauptabschnitte, in denen neben anderen Teilaspekten die zuvor bereits genannten Schwerpunkte wie folgt ausführlich erörtert werden:

Hauptabschnitte	Teilaspekte
<b>1. Aufdecken</b>	Diagnostik
<b>2. Gefahrenbeurteilung</b>	seuchenhygienische Maßnahmen
<b>3. Intervention</b>	weitere seuchenhygienische Maßnahmen
	Organisation von Schutzimpfungen
	Behandlung
<b>4. Internationale Kooperation</b>	

Tab. 2: Rahmenkonzept des Phasenmodells

<sup>1</sup> oder erster Pockenfall im Ausland mit unmittelbarer Bedrohung für die deutsche Bevölkerung

Basierend auf dem Rahmenkonzept, dem auch ein ausführlicher Anhang mit wichtigen Definitionen, Informationsmaterial, Adressen u.ä. beigelegt ist, sind vom RKI so genannte Fortbildungsmaterialien entwickelt worden, die für die Fortbildung der Ärzte, des Öffentlichen Gesundheitsdienstes (ÖGD) sowie der interessierten Fachwelt zum Einsatz gebracht werden können. Diese sind in Form von MS Powerpoint-Präsentationen mit Begleittext bereits auf der Homepage des RKI zum Download verfügbar ([www.rki.de](http://www.rki.de) -> Infektionsschutz -> Biologische Gefahren -> Training). In Abstimmung mit dem Rahmenkonzept ist auch eine CD-ROM des Paul-Ehrlich-Instituts zur Impftechnik über die Landesgesundheitsbehörden an die Gesundheitsämter verteilt worden.

Im Folgenden werden die genannten Schwerpunkte umrissen, wobei der Organisation von Schutzimpfungen besondere Beachtung geschenkt wird.

### **Diagnostik**

Der Verdacht auf Pocken muss kritisch geprüft werden, denn kaum ein heute tätiger Kliniker hat je einen Pockenfall diagnostizieren müssen und die Verwechslung im Initialstadium ist vor allem mit Windpocken möglich. Auch Affenpocken sind, wie der Ausbruch 2003 in den USA zeigte (CDC, 2003b), in die Differentialdiagnostik einzubeziehen. Bei einem Verdachtsfall ist daher eine umgehende konsiliarische Untersuchung durch ein Expertenteam zu empfehlen, das Expertise in klinischer Infektiologie, Pädiatrie und Dermatologie und soweit möglich klinische Erfahrung mit Pockenkranken in sich vereint.

Im weiteren Verlauf muss das diagnostische Vorgehen zwischen Gesundheitsamt, Klinik und Diagnostiklabor gemeinsam vereinbart werden. Probenahme und -asservierung erfolgen durch den Arzt, spätestens durch den Amtsarzt. Letzterer klärt mit einem geeigneten Labor den Probenversand, wobei durch das Gesundheitsamt die Begleitumstände zu dokumentieren sind. Beim Versand von Proben zur Bestätigungsdiagnostik und von nicht-inaktivierten klinischen Verdachtsproben sind die Bestimmungen für Gefahrguttransporte zu beachten: [www.rki.de](http://www.rki.de) -> Infektionsschutz -> Biologische Gefahren -> Probentransport. Ein reibungsloser Probentransport ist Voraussetzung dafür, dass eine schnelle labordiagnostische Klärung gewährleistet wird. Gleichzeitig muss sichergestellt sein, dass die Proben vorschriftsmäßig verpackt wurden, um eine Kontamination der Umgebung während des

Transports auszuschließen.

Das Rahmenkonzept geht ausführlich auf die für die Laboratoriums-Diagnostik von Pockenviren relevanten Verfahren ein:

- die elektronenmikroskopische Differenzierung,
- der Nachweis von Nukleinsäure mittels validierter molekularbiologischer Methoden,
- sowie die Erregeranzucht.

Diagnostik und Bewertung werden unterschieden nach klinischen Proben und nach Umweltproben. Abbildung 7 stellt in einem Flussdiagramm die Diagnostik aus Patientenmaterial bzw. aus einer Umweltprobe dar. Prinzipiell muss der Transport nach der Verpackungsvorschrift P 620 als UN 2814 versendet werden. Eine sterile Umverpackung ist unbedingt notwendig, ein Beipack-Zettel sollte informieren, wie die Proben fixiert / inaktiviert worden sind und an wen der EM-Befund zu übermitteln ist. Für die Untersuchung im Elektronenmikroskop werden durch ein gepuffertes Fixan (z. B. 4 Prozent Formaldehyd in HEPES-Puffer) inaktivierte Proben eingesetzt, für den Genomnachweis muss das Material mit denaturierendem Puffer inaktiviert werden: Beide Proben können nach Desinfektion der Oberflächen der Probengefäße unter üblichen Laborbedingungen, bevorzugt L2/BSL2 weiter bearbeitet werden. Insbesondere für die Bewertung von Umweltproben muss eine native Probe asserviert werden, aus der gegebenenfalls infektiöses Virus nachgewiesen werden kann, wenn sich der Verdacht auf das Vorliegen von Orthopocken / Variolavirus aus den Untersuchungen mit EM und PCR ergibt. Die Anzucht von Pockenviren in Zellkultur sowie der Umgang mit aktivem Material dürfen nur in Laboratorien der Sicherheitsstufe 4 erfolgen.

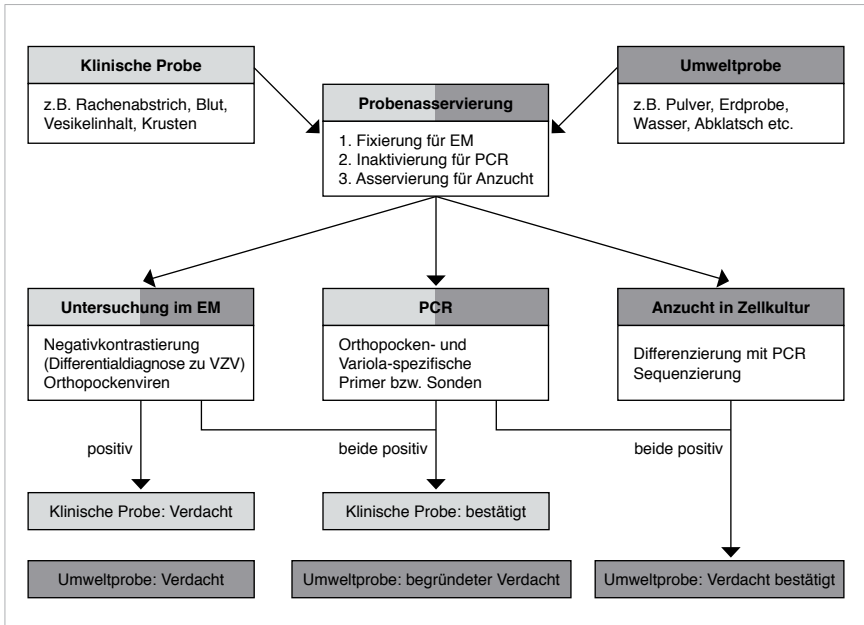


Abb. 7: Ablauf einer Diagnostik aus Umweltprobe und Klinischer Probe

Vorbereitung von drei Probengefäßen: Die Schritte 1–3 werden bei klinischen Proben direkt bei der Abnahme von Patienten und bei „Umweltproben“ in einer Glove Box durchgeführt. Eine Anzucht von Pockenerregern ist nur in BSL-4-Laboratorien möglich. Nach Fixierung bzw. nach Inaktivierung können die Proben unter BSL-1/-2-Bedingungen weiter bearbeitet werden.

Die Bestätigung und Übermittlung einer Labor-Verdachtsdiagnose muss schnellstens erfolgen, damit über weitere Maßnahmen entschieden werden kann. Die Melde- und Informationswege nach Infektionsschutzgesetz (IfSG) sind zu befolgen.

## Seuchenhygienische Maßnahmen

Bei einem begründeten oder bestätigten Verdacht muss auf regionaler, überregionaler und nationaler Ebene die Arbeitsfähigkeit der zuständigen Behörden hergestellt werden, die ihre Entscheidungen aufeinander abstimmen sollten. Infektionsepidemiologischer Sachverstand muss bei den Entscheidungen berücksichtigt werden. Je früher ein Pockenverdachtsfall erkannt und gemeldet wird, umso eher können umfassende Schutzmaßnahmen eingeleitet werden. Das bestehende Meldesystem ist von der Struktur her bereits ausreichend (IfSG § 6 Abs. 1 Nr. 5 a, b). Es muss jedoch gewährleistet sein, dass die Gesundheitsämter zu jeder Zeit erreichbar sind.

Die erforderlichen seuchenhygienischen Maßnahmen umfassen die Ermittlung und das Aufsuchen der Kontaktpersonen, die Identifikation der Exponierten sowie der Infektionsquelle. Möglichst jeder Fall muss ermittelt werden, um eine weitere Ausbreitung zu verhindern bzw. einzudämmen, da jeder einzelne Erkrankte weitere Personen anstecken kann. Zur Unterstützung bei entsprechenden Ermittlungen steht auf Anfrage der Länder beim RKI eine schnelle Einsatzgruppe Seuchenschutz innerhalb von sechs Stunden zur Unterstützung der regionalen und örtlichen Behörden zur Verfügung. Bei überregionalen Ausbrüchen werden die Kapazitäten des RKI vermutlich nicht ausreichen. Daher ist es zu empfehlen, dass die Länder auch eigene Teams vorhalten.

Eine Einschätzung des Ausbreitungsrisikos hat umgehend zu erfolgen, damit geeignete und angemessene Gegenmaßnahmen getroffen werden können. Nach Vorliegen der ersten Gefahreneinschätzung muss über die einzusetzenden Interventionsmaßnahmen entschieden werden.

### Information

Ein wichtiger Bereich innerhalb der Interventionsmaßnahmen stellt die Risikokommunikation dar, insbesondere in Bezug auf den Informationstransfer in die Bevölkerung und die Presse. Im Fall eines bioterroristischen Anschlags insbesondere mit Pocken ist von großer Verunsicherung der Bevölkerung auszugehen. Durch sachliche Information muss dem entgegengewirkt werden. Zusätzlich muss die Bevölkerung darüber informiert werden, welche Schutz-

maßnahmen sie zu befolgen hat und wie sie Zugang zu diesen erhält. Im weiteren Verlauf ist eine fortlaufende und regelmäßige Information notwendig. Dabei sollte in den öffentlichen Verlautbarungen eine offizielle Sprachregelung getroffen werden, um zusätzliche Verwirrung oder widersprüchliche Aussagen zu vermeiden.

Informationen für die Bevölkerung sollten grundsätzlich allgemeinverständlich formuliert sein. Eine dichte Folge der Mitteilungen über den laufenden Stand der Dinge ist geboten, wobei die eingeleiteten Maßnahmen und ggf. die zu erwartenden oder dadurch eingetretenen Folgen erklärt werden. Mögliche Risiken sollten gleichfalls benannt werden.

Aufgrund der Multiplikatorenfunktion der Ärzte, Mitarbeiter des ÖGD, der Polizei, Feuerwehr und der Hilfsorganisationen sowie deren Einsatzfähigkeit für Schutzmaßnahmen, benötigen diese Zielgruppen besondere Informationen, für die gesicherte Informationswege vorhanden sein müssen. Hierzu werden bereits im Vorfeld Informationen zusammengestellt, die in einem Ernstfall an die aktuelle Lage angepasst werden und den Zielgruppen sofort zur Verfügung gestellt werden können.

## **Kommunikation**

Großeinsätze in der Vergangenheit haben gezeigt, dass die Kommunikationsmittel der mitwirkenden Einsatzkräfte nicht ausreichend kompatibel, meist überlastet oder unpraktikabel waren. Dies betraf insbesondere die Einbeziehung des Öffentlichen Gesundheitsdienstes auf lokaler, Landes- und Bundesebene. Bestehende Festnetzanschlüsse werden in einem Ernstfall durch Anrufe der Bevölkerung blockiert. Eine entsprechende Ausstattung muss im Vorfeld geplant und bereitgestellt werden, um auf derartige Belastungsspitzen der Kommunikationsmittel vorbereitet zu sein. Die Notwendigkeit entsprechender Verbesserungen muss auf allen Ebenen überprüft und ggf. initiiert werden.

## **Intervention**

Um den Erfolg der eingeleiteten Maßnahmen zu verifizieren, bedarf es einer aktiven Verlaufssurveillance. Hierzu müssen die Behandlungszentren und die

weiteren Isolierungseinheiten täglich abgefragt werden, um einen Überblick über die Zahl aufgenommener Patienten zu erhalten.

Zur Verhinderung der Weiterverbreitung der Infektionen muss die Bevölkerung über sämtliche verfügbare Medien über mögliche Schutzmaßnahmen informiert werden. Bereits im Vorfeld ist die Verfügbarkeit der zu empfehlenden Schutzmittel zu prüfen und sicherzustellen. Auch die Anwendung des §28 IfSG, der die Einleitung von Schutzmaßnahmen regelt und dadurch die Einschränkung bestimmter Grundrechte erlaubt, kann unter den entsprechenden Umständen als Gegenmaßnahme sinnvoll erscheinen.

Des Weiteren sind die herkömmlichen seuchenhygienischen Maßnahmen in Betracht zu ziehen. So können Zugangsbeschränkungen zu Einrichtungen und Veranstaltungen ausgesprochen werden oder diese untersagt bzw. geschlossen werden. Für Ansteckungsverdächtige (Kontaktpersonen und Exponierte) sind geeignete Schutzmaßnahmen einzuleiten.

## **Schutzimpfung**

Die einzig wirksame Maßnahme zur dauerhaften Bekämpfung der Pocken ist die Impfung. Sie kann zwar die Erkrankung nicht immer verhindern, aber sie vermindert den Schweregrad und damit die Letalität und Mortalität (Fenner, Henderson, Arita, Jezek & Ladnyi, 1988). Die Impfung sollte spätestens innerhalb von vier Tagen nach einer Infektion erfolgen (Henderson DA et al., 1999).

Es steht ausreichend Impfstoff zur Verfügung. Eine prophylaktische Impfung der gesamten Bevölkerung, bevor weltweit ein verifizierter Pockenfall auftritt, ist jedoch aufgrund der relativ hohen Nebenwirkungsrate der Pockenschutzimpfung nicht indiziert. Ein erhöhtes Risiko unerwünschte Nebenwirkungen zu erleiden, haben insbesondere Personen mit schwerer Immunschwäche (z.B. Transplantierte, Immunsupprimierte, Personen unter Steroidtherapie oder mit einer HIV-Infektion), Personen mit Ekzemen (z.B. atopische Dermatitis, Neurodermitis) oder mit Schäden der Hautintegrität zum Beispiel Varizellen/Zoster (CDC, 2003a); (Engler, Kenner & Leung, 2002); (Henderson DA et al., 1999); (Rosenthal, Merchlinsky, Kleppinger & Goldenthal, 2001).

## Impfstrategie

Dem Phasenmodell folgend wird hinsichtlich der zu impfenden Personengruppen folgende Strategie verfolgt:

- In Phase 1 ist die Impfung ausgewählter Personengruppen vorgesehen, die im Rahmen ihrer beruflichen Tätigkeit wahrscheinlich als erste mit auftretenden Pockenfällen konfrontiert werden. Diese umfassen beispielsweise das Personal in den infektiologischen Behandlungs-/Kompetenzzentren und in den biologischen Sicherheitslabors sowie epidemiologische Einsatzgruppen. Eine Übertragung des Impfvirus auf ungeimpfte Personen ist bei Missachtung der Hygieneregeln möglich (Neff, Lane, Fulginiti & Henderson, 2002); (Sepkowitz, 2003). Beachtet werden sollte daher in Phase 1 (und 2), dass frisch Geimpfte bis zum Abheilen der Impfpustel und Personen mit Kontraindikationen gegen eine Pockenschutzimpfung (Ekzematiker, Immundefiziente, Schwangere) nicht zusammen in einer Wohnung leben, kein gemeinsames Arbeitszimmer benutzen und auch keine sonstigen engen Kontakte haben sollten. Frisch geimpftes medizinisches Personal sollte nur in Bereichen arbeiten, in denen ein enger Kontakt mit gefährdeten Personen ausgeschlossen werden kann. Eine Tätigkeit in der Intensivmedizin, Geburtshilfe, Gynäkologie, Chirurgie, Pädiatrie oder Dermatologie sollte bis zum Abfallen der Impfpustel generell ausgeschlossen sein.
- In Phase 2 werden in großem Umfang das medizinische Personal, das für die Behandlung der Erkrankten oder die Impfung der Bevölkerung zuständig ist, sowie die Berufsgruppen geimpft, die für die Aufrechterhaltung des öffentlichen Lebens entscheidend sind. Zielgruppen sind beispielsweise medizinisches Personal (ca. 1,5 Mio.) sowie ausgewählte Berufsgruppen (ca. 3,5 Mio.) wie Mitarbeiter von Hilfsorganisationen, Feuerwehr und kritischen Infrastrukturen.

Die Impfungen in Phase 1 und 2 erfolgen auf freiwilliger Basis unter Beachtung der Kontraindikationen.

- In Phase 3 werden am betroffenen Ort unverzüglich die Impfungen von Kontaktpersonen beginnen. Daneben müssen alle notwendigen seuchenhygienischen Maßnahmen in die Wege geleitet werden. Für die Impfung der „echten“ Kontaktpersonen („Ansteckungsverdächtige“, „Kontakte ersten Grades“) wird der Begriff der „Inkubationsimpfung“ verwendet. Die



Inkubationsimpfungen werden vom Gesundheitsamt organisiert unter Einsatz stationärer oder mobiler Impfteams. Bleiben die Pockenerkrankungen nicht auf Einzelfälle beschränkt, sondern treten überregional auf, so werden Massenimpfungen erforderlich, um die gesamte Bevölkerung in Deutschland innerhalb kürzester Zeit (möglichst innerhalb weniger Tage) zu schützen. Auch Personen, die vor 30 Jahren und mehr bereits gegen Pocken geimpft worden sind, müssten erneut geimpft werden, da nach dieser Zeit nicht mehr von einer ausreichenden Immunität ausgegangen werden kann (Cohen, 2001); (Henderson DA et al., 1999). Zusätzlich müssen in diesem Fall alle notwendigen seuchenhygienischen Maßnahmen in die Wege geleitet werden. Die angemessene Kombination von Riegelungs- und Massenimpfung (Halloran, Longini, Jr., Nizam & Yang, 2002) und Abriegelungsmaßnahmen (Meltzer MI, Damon I, LeDucJW & Millar JD, 2001) bietet den bestmöglichen Schutz vor einer Ausbreitung der Pocken.

## **Impfstofflagerung**

In den Phasen 1 und 2 ist die Versorgung mit Impfstoff aus zentralen Lagerstätten vorgesehen. Da in Phase 3 der Transport innerhalb kürzester Zeit zu erfolgen hat, müssen bereits in Phase 1 die Transportwege sowie die Übergabestellen in den Ländern bestimmt werden. Die Verteilung in den Ländern selbst bis hin zu den gleichfalls in Phase 1 festzulegenden Impfstätten ist von diesen zu organisieren.

## **Raumbedarf**

In Phase 1 kann die Pockenschutzimpfung zentral erfolgen, daher ist kein spezieller Raumbedarf nötig. Für die Durchführung der Impfung in Phase 2 bieten sich die arbeitsmedizinische Versorgungsstruktur sowie der öffentliche Gesundheitsdienst (ÖGD) an. Grundsätzlich ist in dieser Phase jedoch nicht von einem erhöhten Raumbedarf auszugehen. In Phase 3 erfolgt die Impfung der Gesamtbevölkerung in geeigneten Impfstätten, die von den Ländern bzw. von den Gesundheitsämtern ausgewählt werden. Für ländliche, dünner besiedelte Gebiete erscheint es sinnvoller, mobile Impfteams einzusetzen. Für die materielle Ausstattung der Impfstätten sind gleichfalls die Länder zuständig.

Als räumliche Voraussetzungen einer festen Impfstätte sind folgende Punkte zu nennen:

- ausreichend Parkplätze
- gute Anbindung an den öffentlichen Nahverkehr
- genügend Raum/Räume für die Abwicklung der Datendokumentation und Impfung (parallel in mehreren Schlangen)
- geeignete Nebenräume in der Nähe des Impfraumes für Impfstoffkühlung und -vorbereitung, Materiallagerung, Notfallversorgung von Patienten, Aufenthaltsraum für Personal
- Kühlmöglichkeit für den Impfstoff
- Ausreichende Anzahl von Tischen, Stühlen und anderem Mobiliar
- Toiletten
- Berücksichtigung von Sicherheitsaspekten

Die Anordnung der Räumlichkeiten muss ein möglichst reibungsloses Durchschleusen von großen Menschenmengen ermöglichen, am besten durch einen getrennten Ein- und Ausgang. Geeignet erscheinen vor allem Schulen, Betriebe (z. B. große Kantinen), Sport- und Mehrzweckhallen oder öffentliche Gebäude.

### **Ablauf der Massenimpfung**

Abbildung 8 zeigt einen Vorschlag für die Einrichtung und die Organisation einer Impfstätte. Eine erste Triage wird nur erforderlich sein, wenn sich unter den Wartenden auch Erkrankte oder Kontaktpersonen von Erkrankten befinden könnten. Im Normalfall kann man davon ausgehen, dass diese Personengruppen bereits im Vorfeld den Gesundheitsbehörden bekannt sind und nicht zur Massenimpfung erscheinen. Für den Fall, dass dies aber doch geschehen sollte, ist eine sofortige Absonderung vorzusehen. Ein Gespräch mit einem Arzt ist in jedem Fall notwendig, eventuell sogar der Transport in eine Klinik.

Die wartenden Personen bekommen ein Informationsblatt ausgehändigt, auf dem der Ablauf der Impfung sowie Verhaltensmaßregeln nach der Impfung erläutert werden. Das Blatt informiert ebenfalls darüber, welche Symptome auf eine erfolgreiche Impfung hindeuten und in welchem Fall eine erneute Vorstellung beim Arzt angezeigt ist. Diese Informationen sind in elf verschiedenen Sprachen verfügbar.

An die Wartenden wird außerdem ein Fragebogen zu ihrem Gesundheitszustand ausgeteilt, den sie sorgfältig ausfüllen müssen. Personen, die Kontraindikationen angegeben haben, werden einem Impfarzt vorgestellt, mit dem gemeinsam besprochen wird, ob eine Impfung angeraten ist oder ob auf eine Impfung besser verzichtet werden sollte.

Die Dokumentation erfolgt anhand einer Impfkarte, die die Impflinge selbst oder betreuende Personen ausfüllen. Personen, die keine Kontraindikationen aufweisen, reihen sich in die Warteschlange zur Impfung ein.

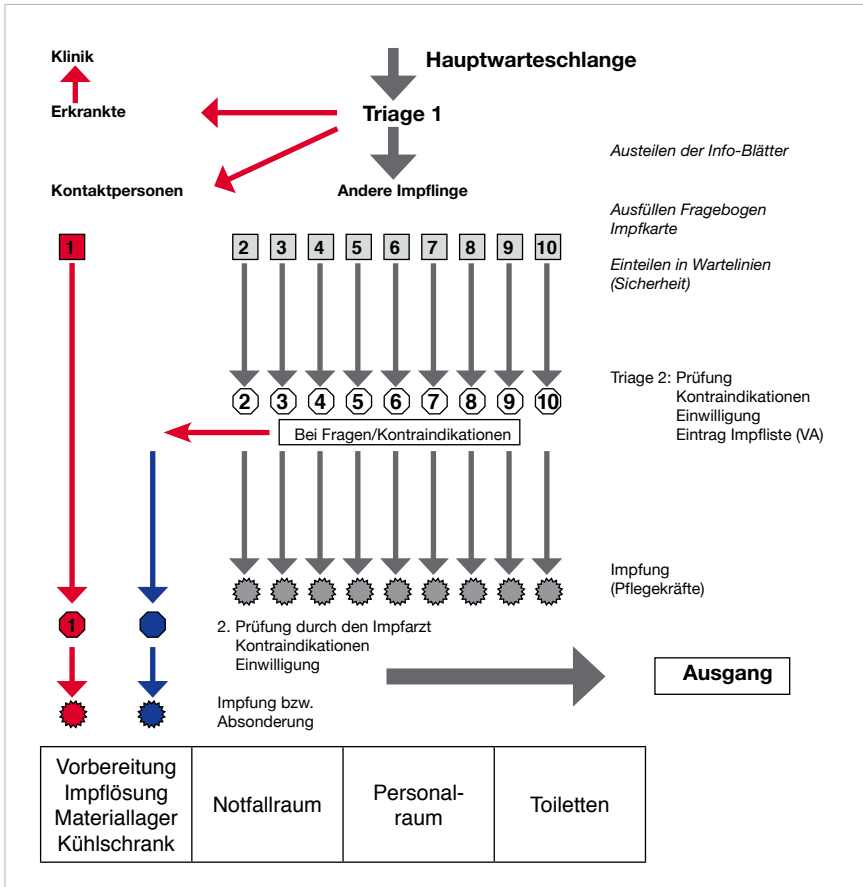


Abb. 8: Einrichtung und Organisation einer Impfstätte

Die Impfung mit der „zweizackigen Impfnadel“ (bifurcated needle) ist die Methode der Wahl, da ihre Anwendung unabhängig von der Erfahrung des Arztes im Umgang mit dieser Nadel mit einer Erfolgsquote von 95 bis 100 Prozent einhergeht. Ausführliche Informationen zum verwendeten Impfstoff sowie zur Impftechnik sind auf einer CD-ROM des Paul-Ehrlich-Instituts (PEI) zusammengestellt worden und über die Landesgesundheitsbehörden an die

Gesundheitsämter verteilt worden. Die darauf enthaltenen Informationen werden bei Bedarf aktualisiert, die Updates sind für die verantwortlichen Personen über die Internetseite des PEI verfügbar ([www.impfcd.pei.de](http://www.impfcd.pei.de)). Diese CD-ROM sowie die durch das RKI erstellten Schulungsmaterialien werden bereits zur Schulung möglicher Impfähzte durch einige Länder eingesetzt.

Bisherige Berichte und Publikationen zu Massenimpfungen zeigen, dass in einer gut organisierten Impfstätte ca. 5.000 Personen pro Tag (10 Stunden) geimpft werden können. Neben der Impfstoffzubereitung und der eigentlichen Impfung schließt dies auch ein vorausgehendes Screening der Impflinge und eine adäquate Dokumentation ein. Auch in vielen Städten und Gemeinden in Deutschland sind in den letzten Jahren entsprechende Impfübungen durchgeführt worden.

Zusätzlich zu den eigentlichen Impfstätten sollten für jeden Landkreis/Stadtbezirk eine zentrale Anlaufstelle durch das Gesundheitsamt eingerichtet werden. Sie sollen insbesondere der Unterstützung der Impfstätten bei organisatorischen, technischen und medizinischen Fragen dienen. Dort könnten sich auch Personen mit Verdacht auf eine Impfkomplication oder bei ausbleibender normaler Impfreaktion melden.

## **Dokumentation**

In den Phasen 1 und 2 sind an die Dokumentation über Impfausweis generell die üblichen Anforderungen zu stellen. Die gesetzlichen Vorgaben gemäß IfSG sind einzuhalten. Bei einer unter hohem Zeitdruck durchzuführenden Massenimpfung aufgrund akuter Bedrohung wie in Phase 3 ist eine Dokumentation im Impfausweis entsprechend den gesetzlichen Vorgaben nicht realistisch. Die Dokumentation der Impfung erfolgt deshalb anhand einer Impfkarte (verbleibt beim Impfling) und anhand von Impflisten. Die Impfliste soll folgende Informationen enthalten: Name, Vorname, Adresse, Geschlecht, Geburtsdatum, Impfung ja/nein, Vorliegen von Kontraindikationen, Einverständniserklärung. Darin wird auch dokumentiert, welche Impflinge mit welcher Charge des jeweiligen Impfstoffes geimpft wurden.

Eine aktive Surveillance des Impferfolges ist bei Kontaktpersonen von an Pocken Erkrankten notwendig, während sie bei der Durchführung von

Massenimpfungen unrealistisch ist. Die Geimpften erhalten ein Informationsblatt, auf dem die normale „Impfreaktion“ sowie mögliche Impfkomplicationen beschrieben sind. Das Info-Blatt enthält die Aufforderung, sich bei der Impfstätte bzw. einer anderen aufgeführten Stelle zu melden, wenn der Ablauf der Reaktion an der Impfstelle nicht der Beschreibung entspricht (keine Impfantwort), bzw. wenn nach der Impfung Krankheitserscheinungen auftreten (Hinweis auf eine Impfkomplication bzw. einen Impfdurchbruch).

Eine sorgfältige Aufklärung der Impflinge über die Anzeichen einer erfolgreichen Impfung (Selbstnachscha) ist unerlässlich. Hierzu sind auf dem Informationsblatt Fotos abgebildet, die eine normale Impfreaktion darstellen. Da die Pockenschutzimpfung mit einem Lebendimpfstoff durchgeführt wird, ist eine Übertragung des Impfvirus von der Impfstelle auf andere Körperregionen oder auf andere Personen möglich und kann zu schwerwiegenden Infektionen führen. Daher erhalten die Impflinge ausführliche Verhaltensregeln für die Zeit nach der Impfung.

## **Behandlung**

Wird ein Patient auf der Basis des klinischen Erscheinungsbildes als Verdachtsfall identifiziert, sind dieser sowie ggf. die Begleitpersonen jeweils in getrennten Zimmern (möglichst mit Schleusenfunktion) zu isolieren. Eines der für die Pockendiagnostik empfohlenen Laboratorien ist zu verständigen und der Probentransport ist unverzüglich in die Wege zu leiten. Zeitgleich sind das zuständige Gesundheitsamt (GA) und das nächstgelegene Kompetenzzentrum zu informieren. Der Transport des Patienten ins nächstgelegene Behandlungszentrum ist vorzubereiten, welches eine Behandlung unter optimalen Bedingungen bietet (Fock R. et al., 2000). Sollte es nicht gelingen, die Patienten in den vorhandenen und als solche ausgewiesenen Behandlungszentren (Sonderisolationen) zu versorgen, ist jede Kommune im Rahmen der Durchführung des IfSG und zur lokalen Begrenzung der Erkrankungen verpflichtet, Patienten und Kontaktpersonen in anderen Einrichtungen zu isolieren und eine angemessene Behandlung anzubieten.

Die begrenzten Bettenkapazitäten machen es erforderlich, dass eine Behandlung in den Behandlungszentren im Falle eines massenhaften Auftretens nur schweren Fällen vorbehalten bleibt. Die Entscheidung, welche Einrichtungen

nach Belegung und erschöpfter Aufnahmekapazität der Behandlungszentren für eine Behandlung in Betracht kommen, erfolgt im Rahmen der örtlichen Zuständigkeit durch die Gesundheitsbehörden auf Länderebene. Hierfür sollten durch den Amtsarzt bereits im Vorfeld Kliniken besichtigt und die geeigneten Einrichtungen festgelegt werden (Krankenhäuser mit Infektionsstationen und andere Einrichtungen mit baulichen Voraussetzungen zur Isolierung von Patienten), Evakuierungspläne für die übrigen Patienten gesichtet und die eventuelle Übernahme durch andere Kliniken vereinbart werden.

Das Rahmenkonzept gibt detaillierte Empfehlungen für die Behandlung der Patienten sowie für die erforderlichen Maßnahmen zum Schutz des Personals. Auch die räumlichen Anforderungen an eine Isoliereinheit und geeignete Maßnahmen zur Desinfektion, Abfallentsorgung und dem Umgang mit Verstorbenen werden beschrieben. Dabei handelt es sich um Empfehlungen, wie sie unter optimalen Voraussetzungen gewährleistet werden können. Bei einem Massenansturm von Patienten kann ein abgestuftes Vorgehen, entsprechend vorhandener Kapazitäten, notwendig werden.

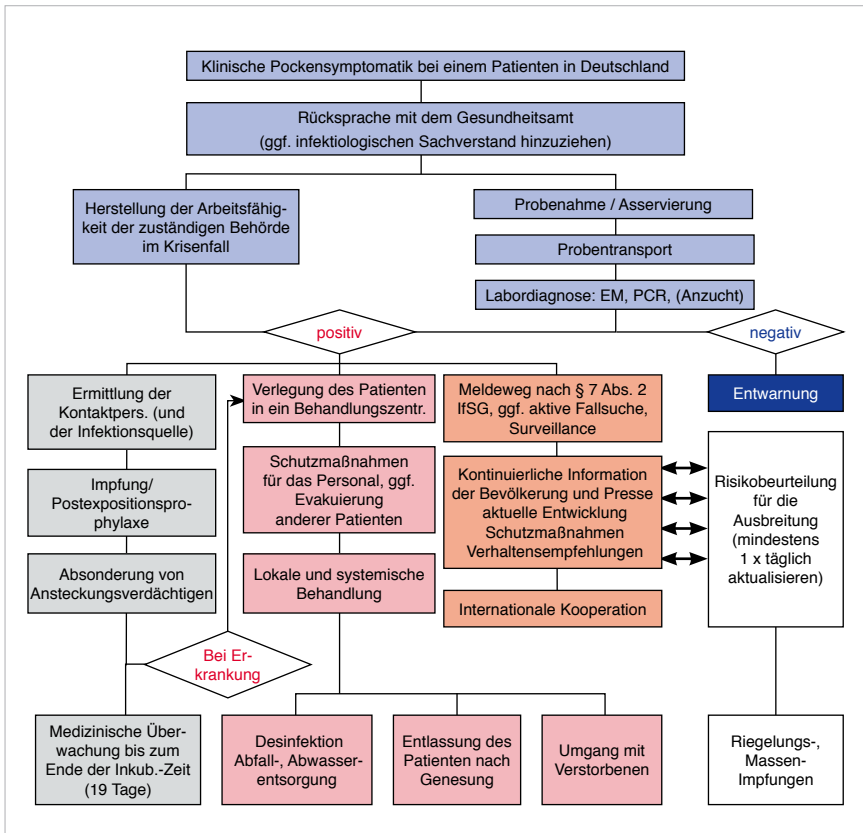


Abb. 9: Maßnahmen und Entscheidungen beim Umgang mit einem Verdachtsfall

Diese Abbildung 9 zeigt in schematisierter Form die erforderlichen Maßnahmen und Entscheidungen beim Umgang mit einem Verdachtsfall.



## **Schlussbemerkungen**

Das hier in Teilen vorgestellte Rahmenkonzept zu notwendigen fachlichen Vorbereitungen und Maßnahmen zur Seuchenbekämpfung nach bioterroristischen Anschlägen mit Pocken bietet den Ländern eine Basis, auf der sie auf eine mögliche Herausforderung durch bioterroristische Anschläge reagieren können. Wie bereits erwähnt, ist dieses Rahmenkonzept nicht als endgültiges Dokument zu verstehen. Vielmehr soll es weiter diskutiert werden, um neue Erkenntnisse und Fragestellungen in den Empfehlungen zu berücksichtigen.

## Literaturhinweise

CDC (2003a). From the Centers for Disease Control and Prevention. „Cluster of severe acute respiratory syndrome cases among protected health-care workers“, Toronto, Canada, April 2003. JAMA., 289(21), 2788-2789.

CDC (2003b). Smallpox vaccination and adverse reactions. Guidance for clinicians. MMWR.

COHEN, J. (2001). Bioterrorism. Smallpox vaccinations: How Much Protection Remains? „Science.“, 294(5544), 985.

ENGLER, R. J., KENNER, J. & LEUNG, D. Y. (2002). „Smallpox vaccination: Risk considerations for patients with atopic dermatitis“. J.Allergy Clin.Immunol., 110(3), 357-365.

FENNER, F., HENDERSON, D. A., ARITA, I., JEZEK, Z. & LADNYI, I. D. (1988). Smallpox and its Eradiction. „World Health Organisation“.

FOCK, R., KOCH, U., FINKE, E. J., NIEDRIG, M., WIRTZ, A., PETERS, M., SCHOLZ, D., FELL, G., BUSSMANN, H., BERGMANN, H., GRÜNEWALD, T., FLEISCHER, K., RUF, B. (2000). Schutz vor lebensbedrohlichen importierten Infektionskrankheiten. Strukturelle Erfordernisse bei der Behandlung von Patienten und antiepidemischen Maßnahmen. „Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz“, 43, 891-899.

HALLORAN, M. E., LONGINI, I. M., JR., NIZAM, A. & YANG, Y. (2002). Containing bioterrorist smallpox. Science., 298(5597), 1428-1432.

HENDERSON, D. A., INGLESBY, T. V., BARLETT, J. G., ASCHER, M. A., EITZEN, E., JAHRLING, P. B. et al. (1999). „Smallpox as a biological weapon.“ JAMA, 281, 2127-2137.

MELTZER, M. I., DAMON, I., LEDUC, J. W., MILLAR, J. D. (2001). Modeling Potential Responses to smallpox as a bioterrorist weapon. „Emerging Infectious Diseases“, 7, 959-969.

NEFF, J. M., LANE, J. M., FULGINITI, V. A., HENDERSON, D. A. (2002). „Contact vaccinia-transmission of vaccinia from smallpox vaccination“. JAMA., 288(15), 1901-1905.

ROSENTHAL, S. R., MERCHLINSKY, M., KLEPPINGER, C. & GOLDENTHAL, K. L. (2001). Developing new smallpox vaccines. *Emerg.Infect.Dis.*, 7(6), 920-926.

SEPKOWITZ, K. A. (2003). „How contagious is vaccinia?“ *N.Engl.J.Med.*, 348(5), 439-446.



## 1.8 Szenarien biologischer Gefahrenlagen – Eskalationsstufen der Risikokommunikation

*Petra Dickmann · Wolf Dombrowsky · Manfred Wildner*

### Zusammenfassung

Biologische Gefahrenlagen sind komplexe Situationen, in denen epidemiologische, logistische, kommunikative und phantasmatische Aspekte stark verwoben sind. Diese Vielschichtigkeit legt ein mehrdimensionales, gestuftes Assessment nahe, das in diesem Beitrag dargestellt werden soll. Berücksichtigung finden dabei die Bewertungsdimensionen Epidemiologie, situativer Kontext, Kommunikation, soziale Wahrnehmungen und logistische Anforderungen. Bei der Dimension „situativer Kontext“ wird zudem zwischen bekannten und unbekanntem Lagen unterschieden. Für die Beurteilung der epidemiologischen Lage wird im ersten Schritt eine „erregerbasierte Matrix“ entwickelt. Sie stellt die Beziehung zwischen der Klassifikation des Erregers und dem Dreiklang aus Diagnostik / Therapie / Prognose her. In einem zweiten Schritt werden daraus die logistischen und in einem dritten Schritt die kommunikativen Anforderungen herausgearbeitet sowie die Aspekte sozialer Wahrnehmung einbezogen. Insgesamt kann dann aus dieser Matrix eine Kommunikationsstrategie hergeleitet werden, die die Interdependenz von objektiver Lage und subjektiver Wahrnehmung und Verarbeitung besser als bisher zu berücksichtigen erlaubt. Ziel dieser „erregerbasierten Matrix“ ist eine situativ angepasste Kommunikationsstrategie, die es den informierenden Anwendergruppen erlaubt, situativ und praxisnahe Krisen- und Risikokommunikation für spezifische Zielgruppen zeitnah zu erstellen.

## **Szenarien biologischer Gefahrenlagen Eskalationsstufen der Risikokommunikation**

Biologische Lagen sind komplexe Situationen, in denen die öffentliche Wahrnehmung mit epidemiologischen, logistischen, kommunikativen und phantasmatischen Aspekten stark verwoben ist (Dombrowsky, 2006); (Khan, Morse & Lillibridge, 2000); (Rotz, Khan, Lillibridge, Ostroff & Hughes, 2002); (Karwa, Currie & Kvetan, 2005). Eine effektive Krisen- und Risikokommunikation setzt daher eine bestmögliche Einschätzung des kommunikativen Bedarfes, der biologischen Lage und der notwendigen nächsten Schritte voraus. Diese Vielschichtigkeit legt eine mehrdimensionale Bewertung nahe, welche nachfolgend weiter ausgeführt und präzisiert werden soll. Dieser Beitrag ist ein Arbeitszwischenschritt der AG Risikokommunikation des *Interdisziplinären Expertennetzwerkes Biologische Gefahren* am Robert Koch-Institut.

Biologische Gefahren stellen eine besondere Herausforderung an die Risiko- und Krisenkommunikation dar. Während in der Risikokommunikation versucht wird, die kulturell verankerten Handlungsgewohnheiten, die gesellschaftlichen Phantasmen und Ängste zu thematisieren und eine transparente Informationslage anzubieten, ist die Krisenkommunikation vor allem von Entscheidungszwang unter Unsicherheits- und Knappheitsbedingungen (Zeit, Ressourcen, Informationen) charakterisiert. Um unter diesem Druck Risiken besser beurteilen und kommunikative Bedürfnisse angemessener berücksichtigen zu können, bieten wir eine Matrix an, die es erleichtern soll, die besondere Charakteristik biologischer Gefahren schnell einordnen und adäquate Handlungsoptionen ableiten zu können.

## **Dimensionen der Bedrohung und kommunikativer Kontext Szenarien biologischer Gefahrenlagen**

Bei biologischen Gefahrenlagen haben die Akteure primär mit Neuem, Unbekanntem, Ungewohntem und Ungewissem zu tun. Es werden gleichsam unbekannte Räume betreten, von denen man sich erst mühsam ein Bild „zusammenpuzzeln“ muss (vgl. (Karwa et al., 2005).

Im Moment erster und größter Ungewissheit ist somit das Erfordernis am größten, das unbekannte Neue dennoch in Handhabbarkeit zu überführen.

Letztlich besteht darin die Kunst des Katastrophen-Managements: In das Chaos (als *der* Metapher für die beängstigende Ausgangssituation) eine irgendwie geartete Ordnung zu bringen, durch die sich die Lage so geeignet wie möglich abarbeiten lässt. Dies ist bei terroristisch motivierten biologischen Gefahrenlagen besonders schwer, weil es sich bei ihnen um

- unbekannte bzw. neuartige, teilweise komplexe Situationen im Zusammenhang mit biologischen Erregern oder ihren Stoffwechselprodukten handeln kann,
- deren Beurteilung die Wahrnehmung unterschiedlicher Aspekte erfordert und
- deren indirekte Auswirkungen die direkten bei weitem übersteigen können.

Beispiele für derart unbestimmte Situationen waren die objektiven und subjektiven Gefährdungen von Arbeitern in Postverteilungsstellen in den USA durch versandte Briefe mit Anthrax-Sporen. Dass die indirekten Auswirkungen die direkten übersteigen können, wird deutlich an dem Verhältnis zwischen tatsächlich Erkrankten und den besorgten Gesunden z.B. die mit Chemoprophylaxe versorgten Mitarbeiter der betroffenen Einrichtungen in den USA (Kapitol, Poststellen) oder auch am Phänomen der „mass sociogenic illness“ (MSI), d. h. der soziogenen Entwicklung von objektiv wahrnehmbaren Symptomen durch gesunde Menschen (Jones et al., 2000), (Wessely, Hyams & Bartholomew, 2001), (Hall, Norwood, Ursano & Fullerton, 2003). Damit wird auch die Notwendigkeit deutlich, unterschiedliche Aspekte in ihrer Interdependenz wahrnehmen und analysieren zu müssen. Das Spektrum reicht von der medizinischen Indikationsstellung über die logistischen Aspekte der Information und Betreuung der Betroffenen bzw. unter Erkrankungsverdacht stehenden bis hin zu den nicht direkt betroffenen, jedoch potentiell ebenfalls bedrohten Gesunden.

In den meisten Fällen stehen alle Akteure vor einem bekannten Dilemma. Sie müssen aus unvollständigen Informationen unter enormen Knappheits- und Moralzwängen revisionssichere Entscheidungsgrundlagen generieren. In den meisten Fällen behilft man sich mit Analogien: „Wie haben wir es beim letzten ähnlichen Fall gemacht?“ Im Prinzip orientiert sich Wahrnehmung, Bewertung und Entscheiden an Ähnlichkeitsmustern. Am besten versteht man diesen Zusammenhang mit einem „kosmologischen“ Bild, das selbst wiederum eine Analogie ist: Wenn wir in den Sternenhimmel schauen, sehen wir nichts

als unterschiedlich „leuchtende“ Punkte. Indem wir in das Chaos aus Leuchtpunkten „Sternbilder“ projizieren, „erkennen“ wir Ordnung, die uns sogar orientierungsfähig und darüber hinaus „Weltbild“-fähig macht. Aus dem zweidimensionalen Sternenhimmel wird ein dreidimensionaler Weltraum und aus ihm eine entmythologisierte Kosmologie. In genau diesem Sinne lassen sich auch „chaotische“ Unbestimmtheiten „managen“, weil es anfangs nur darauf ankommt, Ordnung zu stiften. Die gestiftete Ordnung führt dann zu faktischer Orientierung und somit zu Handlungsfähigkeit. Insofern ist der Umgang mit Unbekanntem, Unbestimmtem anfänglich nur die intentionale Rekonstruktion einer unbestimmt komplexen Realität. Doch lässt sie sich in eine bestimmbar komplexe Realität überführen, sofern geeignete Methoden angewandt werden. Was sind nun die „geeigneten Methoden der Rekonstruktion“ im Zusammenhang mit Szenarien biologischer Gefahrenlagen?

In Anlehnung an die gezeigte Metapher der dreidimensionalen Rekonstruktion wird eine dreidimensionale Charakterisierung vorgeschlagen, mit folgenden Achsen:

- (X<sub>0</sub>) Öffentliche Wahrnehmung
- (X<sub>1</sub>) situativer Kontext und Epidemiologie und
- (X<sub>2</sub>) Logistik.

Gleichzeitig muss darauf hingewiesen werden, dass sich diese großen Klassifikationsachsen derartiger Szenarien wieder in verschiedene eigene, untergeordnete Klassifikationsachsen gliedern lassen – es liegt gleichsam eine „Fraktal“-Struktur vor, um im Bild der Komplexitätstheorie zu bleiben.

## **Situativer Kontext**

Als erstes steht die innere Gliederung, die Matrix, welche die erste *kontextbezogene* Klassifikationsachse bildet. Sie wird gebildet von den Begriffen „Erreger“ und „Erregerereigenschaften und Kontext“. Hier wird der mikrobiologischen Identifikation und Klassifikation von Erregern zunächst großes Gewicht eingeräumt, welche zumindest die Einordnung des Erregers in eine Taxonomie des Bekannten ermöglicht: was einen Namen hat, verliert einen Teil seines Schreckens. Gleichzeitig will die zweite Achse dieser Matrix differenzieren und sensibilisieren: auch was einen Namen trägt, kann sich geändert



haben, kann andere Eigenschaften aufweisen (Stichwort Gentechnik), welche erst im Organismus Mensch bzw. in Bevölkerungsgruppen erkennbar werden. Oder der Erreger kann in einem ungewöhnlichen Kontext auftreten, und aus einer solchen Interaktion können sich durchaus eigene Effekte entwickeln: eine vordergründig „harmlose“ Durchfallerkrankung wird bei einem Postarbeiter beim Sortieren von Briefen ganz andere Auswirkungen haben als bei einem Flugzeugkapitän im Dienst oder bei dem Kapitän einer Fußballmannschaft im Turnier. Besonders heikel sind Camouflagen: Bioterroristisch motivierte Anschläge können z. B. durch entsprechende „Bekennerschreiben“ im Nachgang zu einem „natürlichen“ Ausbruchsgeschehen leicht fingiert werden. Umgekehrt können sich bioterroristisch motivierte Anschläge auch als Unfälle oder natürliches Geschehen tarnen, auch wenn das unter dem Gesichtspunkt der bioterroristischen Intention, nämlich Angst und Schrecken im Interesse der eigenen Belange zu erzeugen, weniger wahrscheinlich ist.

Erreger Eigenschaften und Kontext	A. Erreger bekannt	B. Erreger unbekannt	C. Camouflage von A. oder B.
1. mit bekannten Eigenschaften in bekanntem situativen Kontext	z. B. jährliche Grippeepidemien	z. B. lebensmittelbedingte Durchfallerkrankungen	Verkleidung als Terror, als kriminelle Handlung, als Unfall etc.
2. mit bekannten Eigenschaften in unbekanntem/ neuem situativen Kontext	z. B. Anthrax-Briefe bei bioterroristisch motivierten Anschlägen	z. B. bioterroristisch motivierte Anschläge auf die Nahrungsmittelindustrie	
3. mit neuartigen Eigenschaften in bekanntem Kontext	z. B. Grippepandemien	z. B. SARS	
4. mit neuartigen Eigenschaften in unbekanntem/ neuem Kontext	z. B. gezielte genetische Veränderung an B-Waffen-Erregern	z. B. speziell entwickelte B-Waffen-Erreger	

Tab. 3: Situativer Kontext

Kontagiosität und Krankheitsbild					
Diagnostik, Therapie und Prognose		A. Kontagiosität niedrig, Krankheits-schwere niedrig	B. Kontagiosität hoch, Krankheits-schwere niedrig	C. Kontagiosität niedrig, Krankheits-schwere hoch	D. Kontagiosität hoch, Krankheits-schwere hoch
	I. Erreger bekannt, gut behandelbar	Typ „Salmonellen in der Salatbar“	Typ „Typhus“	Typ „Botulinustoxin“ (Beatmungsbetten verfügbar)	Typ „Pocken“ (Vakzine verfügbar)
	II. Erreger bekannt, schwer behandelbar	Typ „Cryptosporiden im Trinkwasser“	Typ „Virale Enzephalitis“ Influenza-Epidemie	Typ „Milzbrandsporen“	Typ „Pocken“ (keine Vakzine verfügbar)
	III. Erreger unbekannt, gut behandelbar	Typ „Salmonellen in der Salatbar“ (initial)	Typ „Typhus“ (initial)	Typ „Botulinustoxin“ (initial, Beatmungsbetten verfügbar)	Typ „Pocken“ (prophylaktische Impfung)
	IV. Erreger unbekannt, schwer behandelbar	Typ „Cryptosporiden im Trinkwasser“ (initial)	Typ „Virale Enzephalitis“ (initial) Influenza-Pandemie (initial)	Typ „Milzbrandsporen“ (initial)	Typ „Pocken“ (initial ohne Impfung) SARS (initial)

Tab. 4: Erregereigenschaften und Epidemiologie

### Erreger und Epidemiologie

Eine weitere große Klassifikationsachse ist die erregerbezogene Bewertung, bezogen auf medizinische bzw. epidemiologische Kategorien. Hier bestehen Überschneidungen zur eben genannten kontextbezogenen Klassifikationsachse – die Klassifikationsachsen stehen also nicht „orthograd“ aufeinander, sondern quasi schräg zueinander, wie die Speichen eines halb geöffneten Regenschirms. Die beiden untergeordneten Achsen der Matrix repräsentieren einerseits die individualmedizinische Sicht, gekennzeichnet durch die Trias Diagnose, Thera-

pie und Prognose, andererseits die bevölkerungsmedizinisch-epidemiologische Sicht, gekennzeichnet durch die Krankheitsschwere (zunächst ungeachtet ihrer medizinischen Behandelbarkeit) und die Kontagiosität. Damit ergibt sich eine Matrix, die vom relativ harmlosen Szenario einer lebensmittelübertragenen Salmonelleninfektion bis zur globalen Bedrohung z. B. einer SARS-Epidemie reicht.

### **Ausgangslage für die Kommunikation**

In der Zusammenschau lässt sich festhalten, dass mit dem bisher Gesagten die Perspektive situativer Kontext und Epidemiologie sowie Aspekte der öffentlichen Wahrnehmung angesprochen wurden. Eine weitere Perspektive betrifft die daraus ableitbare Anforderung an die Logistik. Diese ergibt sich aus der vorangegangenen Charakterisierung und Bewertung und bezieht sich z. B. auf die Aspekte

1. Identifikation und Benachrichtigung der Betroffenen
2. Abriegelung am Ort des Geschehens, Isolierung der Erkrankten, Überwachung der Erkrankungsverdächtigen
3. multidirektionaler Transport von Menschen und Material
4. Aspekte der Verteilung, Versorgung und Betreuung sowie
5. die Beanspruchung von vorgehaltenen Ressourcen, welche die Mobilisierung weiterer Ressourcen auf lokaler, regionaler oder überregionaler Ebene nach sich ziehen kann.

Bewertungsdimension	Situationsbeschreibung und Bewertung	Ziele und Zielgruppen	Maßnahmen und Voraussetzungen
Situativer Kontext und Epidemiologie	Im Spannungsfeld von Erreger: bekannt/unbekannt, Kontagiosität/ Krankheitsbild, Diagnostik/Therapie/ Prognose und dem Ereigniskontext	Folgt aus Spalte Situationsbeschreibung und Bewertung	Folgt aus Spalte Ziele und Zielgruppen
Öffentliche Wahrnehmung und Risikokommunikation	Im Spannungsfeld aus Diskurs/ Kommunikation und Phantasma/ Bedrohung.	Folgt aus Spalte Situationsbeschreibung und Bewertung	Folgt aus Spalte Ziele und Zielgruppen
Logistische Anforderungen	Ergibt sich aus den anderen Bewertungsdimension und bezieht sich z. B. auf 1. Identifikation, Benachrichtigung 2. Abriegelung/Isolierung/Überwachung 3. Transport (Menschen, Material) von/hin und 4. Verteilung/Versorgung/Betreuung sowie die Beanspruchung von Ressourcen (lokal/regional/überregional)	Folgt aus Spalte Situationsbeschreibung und Bewertung	Folgt aus Spalte Ziele und Zielgruppen

Tab. 5: **Multidimensionales Assessment biologischer Lagen**

An diesem Punkt soll die Charakterisierung von Szenarien biologischer Gefahrenlagen zunächst beendet werden, auch als selbst auferlegte Beschränkung vor dem Hintergrund des pragmatischen Argumentes der Handhabbarkeit und des begrenzten Zeitraumes für Analysen angesichts eines anzunehmenden starken Handlungsdruckes in Krisensituationen.

## **Ausblick**

Zum Schluss ein Ausblick in für die Erforschung des Unbekannten unvermeidliche weitere Forschungsthematiken:

- Präzisierung und Ausdifferenzierung der Matrix
- Entwicklung von praxisnahen Modulen der Krisenkommunikation
- Arbeit an der vorausschauenden, proaktiven Risikokommunikation in Abgrenzung zur reaktiven Krisenkommunikation
  - Dialog mit der Bevölkerung oder Bevölkerungsgruppen
  - Dialog mit Experten, Entscheidungsträgern und ausführenden Organen
  - Dialog mit (potenziell) Betroffenen

Die genannten Themen sind selbstverständlich weder umfassend noch abschließend, jedoch unseres Erachtens vordringliche Themen für die weitere Bearbeitung dieses herausfordernden Gebietes.

## Literaturhinweise

DOMBROWSKY, W. (2008). Information der Öffentlichkeit, in: Notfallschutz bei Schadenslagen mit radiologischen Auswirkungen. Klausurtagung der Strahlenschutzkommission 10./11. November 2005. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Band 60, hrsg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin: H. Hoffmann GmbH Fachverlag 261-291

HALL, M. J., NORWOOD, A. E., URSANO, R. J. & FULLERTON, C. S. (2003). „The psychological impacts of bioterrorism.“ *Biosecur.Bioterror*, 1(2), 139-144.

JONES, T. F., CRAIG, A. S., HOY, D., GUNTER, E. W., ASHLEY, D. L., BARR, D. B. ET AL. (2000). Mass psychogenic illness attributed to toxic exposure at a high school. *N.Engl.J.Med.*, 342(2), 96-100.

KARWA, M., CURRIE, B. & KVETAN, V. (2005). „Biosecur: Preparing for the impossible or the improbable“. *Crit Care Med.*, 33(1 Suppl), S75-S95.

KHAN, A. S., MORSE, S. & LILLIBRIDGE, S. (2000). „Public-health preparedness for biological terrorism in the USA“. *Lancet.*, 356(9236), 1179-1182.

ROTZ, L. D., KHAN, A. S., LILLIBRIDGE, S. R., OSTROFF, S. M. & HUGHES, J. M. (2002). „Public health assessment of potential biological terrorism agents“. *Emerg. Infect.Dis.*, 8(2), 225-230.

WESSELY, S., HYAMS, K. C. & BARTHOLOMEW, R. (2001). „Psychological implications of chemical and biological weapons“. *BMJ.*, 323(7318), 878-879.

# 2

## Probennahme





## 2.1 Einleitung: Anforderungen biologischer Gefahrenlagen an die koordinierte Zusammenarbeit von First Respondern zur Sicherung einer effizienten Gefahrenabwehr

*Nahid Derakshani*

Biologische Schadenslagen sind komplexe Situationen, bei denen eine effiziente Zusammenarbeit von First Respondern aus verschiedenen Bereichen gefragt ist. Schilderungen von zu treffenden Maßnahmen durch die Polizei und Feuerwehr verdeutlichen, dass eine effiziente Gefahrenabwehr nur bei einer ineinander verzahnten Zusammenarbeit von Polizei, Feuerwehr und Gesundheitsdienst möglich ist. Für diese speziellen Situationen fehlt es momentan an Handlungsanweisungen, die ressortübergreifend sind und der Komplexität und Variabilität der vorstellbaren B-Szenarien gerecht werden. Neben der Koordinierung verschiedener Ressorts ist ein weiterer Schwerpunkt, die Qualitätssicherstellung der Probenahme, wichtig. Dies kann durch Handlungsanweisungen zur Probenahme an First Responder erfolgen sowie auch für zuständige Laboratorien hinsichtlich einer im Vorfeld auf bestimmte Analysemethoden abgestimmten Probenbehandlung. Die Problematik der Szenarienkomplicität kann durch vereinfachte Handlungsanweisungen nicht gelöst werden, aber sie bietet Ansatzpunkte, um sich ressortübergreifend zu koordinieren.

In den zwei folgenden Beiträgen werden die Anforderungen biologischer Schadenslagen an die koordinierte Zusammenarbeit von First Respondern zur Sicherung einer effizienten Gefahrenabwehr näher betrachtet.

**Christian Steiof** vom LKA Berlin gibt einen Überblick über die Vorgehensweise der Polizei, wenn die Möglichkeit einer beabsichtigten Freisetzung von biologischem Material nicht ausgeschlossen werden kann. Dabei wird die Schwierigkeit der Szenario- und der Risikoabschätzung aufgezeigt. Er empfiehlt für eine Gefahreneinschätzung im Einsatz eine Priorisierung biologischer Erreger vorzunehmen. Ein Austausch mit anderen zuständigen Fachbereichen ist notwendig. Er kommt zu dem Schluss, dass grundsätzliche Handlungsabläufe und Verfahrensweisen für die koordinierte Zusammenarbeit der Sicherheitsbehörden zu entwickeln sind.

Als Vertreter der Berufsfeuerwehr beschreibt der Landesbranddirektor **Albrecht Broemme** als zentrale Aufgabe der Feuerwehr die der Lageerkundung. Besonders der Aspekt Bioterrorismus ist im Kontext der weltweiten Gefahrenlage zu berücksichtigen. Da eine Detektion von B-Agenzien vor Ort momentan nicht möglich ist, ist für die Lageerkundung ebenfalls die B-Probenahme von zentraler Bedeutung. Auch wenn es bis zum jetzigen Zeitpunkt in Deutschland zu keinem Anschlag mit biologisch aktiven Materialien gekommen ist, hat alleine der psychologische Effekt immense Wirkung und muss bei der Gefahreneinschätzung berücksichtigt werden.

## 2.2 Das Vorgehen der Berliner Polizei bei möglichen bioterroristischen Anschlägen

*Christian Steiof*

### **Transnationaler Terrorismus – Bioterrorismus**

Die moderne Form des Terrorismus zeichnet sich durch folgende Charakteristika aus: Transnationales Netzwerk, irrationale Entscheidungen, unkonventioneller Terrorismus, Selbstmordattentate (auch Frauen), extreme Ideologie und Kampferfahrung (Afghanistan, Bosnien, Tschetschenien). Der unkonventionelle Terrorismus ist durch unterschiedliche Formen gekennzeichnet wie zum Beispiel der Cyberterrorismus (Infizieren von Computersystemen und Netzwerken), elektromagnetische Waffen und der ABC-Terrorismus.

Für die Anwendung des unkonventionellen Terrorismus muss unter anderem angemerkt werden, dass er

- billiger auf Grund von geringerem logistischen Aufwand ist,
- effektiver auf Grund der positiven Mittel-Ziel-Relation ist,
- einen größeren Schock-Faktor auf Grund eines hohen Panikpotenzials besitzt,
- zeitverzögert stattfinden und somit die Verschleierung, Flucht und größere Folgen begünstigen kann,
- eine mystische Faszination ausübt, die maßgeblich durch einen Macht- und Überlegenheitsfaktor geprägt ist.

### **Bioterrorismus**

Wie die Vergangenheit gezeigt hat, ist das Interesse von Terroristen an biologischen Erregern vorhanden. Bekanntester Fall ist die Ermordung des bulgarischen Dissidenten Georgi Markow mit Rizin im Jahre 1978. Im Jahr 1984 brachte die Bhagvan-Sekte Salmonellen in einer Salatbar im US-Bundesstaat Oregon aus. Über 700 Menschen erkrankten.

Bevor die Aum-Sekte 1995 die Sarin-Anschläge in der Tokioter U-Bahn verübten, führten sie zwei erfolglose Anschläge mit Botulinumtoxin und einen erfolglosen Anschlag mit Anthrax-Sporen durch.

Nach dem 11. September 2001 kam es auch zu einer Reihe von Anthrax-Anschlägen in den USA. Hierbei wurde waffenfähiger Anthrax verwendet. Mehrere Menschen starben. Nahezu zeitgleich wurden auch in der Bundesrepublik Deutschland – und insbesondere in Berlin – zahlreiche Briefe mit suspekten Substanzen versendet. Keiner dieser Briefe enthielt Anthrax-Sporen oder andere biologische Erreger. Die Fallzahlen von gefertigten Strafanzeigen (in der Regel § 130 StGB – Störung öffentlichen Friedens) in diesem Zusammenhang sind stark rückläufig: von 128 Fällen im Jahr 2001 auf 26 Fälle im Jahr 2004. Insgesamt wurden bisher ca. 265 Fälle (Stand: 15. August 2005) bearbeitet.

Im Zuge des Afghanistaneinsatzes wurden darüber hinaus in Ausbildungslagern Hinweise darauf gefunden, dass auch dort mit biologischen Erregern Experimente durchgeführt wurden.

## **Szenarien**

Um das Ausmaß eines bioterroristischen Angriffs beschreiben zu können, ist es notwendig, die verschiedenen denkbaren Szenarien über den Einsatz von biologischen Erregern aufzuzeigen. Grundsätzlich kann zwischen zwei Szenarien unterschieden werden, dem „günstigsten“ Fall und dem „worst case“-Szenario. Dazwischen sind zahlreiche Varianten denkbar.

### **Der „günstigste“ Fall**

Benennung des Erregers, des Ortes (eindeutig eingrenzbar) und der Tatausführung durch den Täter.

### **„worst case“-Szenario**

Anschlag als solcher nicht erkennbar. Häufung von Krankheitsbildern über die Stadt verteilt, unbekannter Tatort und unbekannter Erreger.

## Biologische Erreger – Wahrscheinlichkeit des Einsatzes

Nahezu alle biologischen Erreger eignen sich in einem gewissen Maße als biologische Kampfstoffe. Internationale Institute und Forschungseinrichtungen haben sich auf eine Liste von insgesamt zwölf Erregern geeinigt das sogenannte „Dreckige Dutzend“.

- Viren:** Virale hämorrhagische Fieber (Ebola, Dengue, Lassa)  
VEE (Venezuelanische Pferdeenzephalitis)  
Pocken
- Bakterien:** Milzbrand, Anthrax  
Brucellose  
Rotz und Melioidose  
Pest  
Hasenpest  
Q-Fieber
- Toxin:** Botulinumtoxin  
Rizin  
Staphylokokken-Enterotoxin B

Für die Arbeit der Sicherheitsbehörden ist es sinnvoll, die oben genannte Erreger hinsichtlich ihrer tatsächlichen Einsatzwahrscheinlichkeit zu priorisieren. Hierzu war es notwendig, diese nach festgelegten Kriterien wie Verfügbarkeit, Möglichkeiten der Herstellung/Stabilität des Erregers, Ausbringungsmöglichkeiten und „Erfolgsaussichten“/Risiko des Täters zu kategorisieren. Demnach ist ein hohes Risikopotenzial des Erregers (effektiv im Sinne von tödlich) und die Letalität eines Erregers nicht das einzige Auswahlkriterium, da allein die Verbreitung von Angst eine Zivilgesellschaft maßgeblich beeinträchtigen kann.

An Hand von drei Beispielen soll die Komplexität und Bandbreite von biologischen Erregern veranschaulicht werden:

### *Pocken, Variola-Virus*

- Risikopotenzial
  - hochinfektiös, Letalität 20 bis 50 % (unbehandelt)
  - weltweite Ausrottung/Verfügbarkeit von Impfstoffen
  - Bedrohung durch waffenfähige Aufbereitung
  - hohes Risikopotenzial
- Verfügbarkeit
  - gering, nur noch zwei Laboratorien verfügen über Pockenstämmen
- Möglichkeiten der Herstellung/Stabilität des Erregers
  - relativ einfache Herstellung, aber geringe Verfügbarkeit
  - hoher Aufwand für waffenfähige Stämme
- Ausbringungsmöglichkeiten/Erfolgsaussichten
  - kann über Aerosole ausgebracht werden, Risiko der Eigeninfektion
  - Impfstoffe vorhanden/fehlende Kontrolle
- Wahrscheinlichkeit des Einsatzes eher gering

### *Anthrax, Milzbrand*

- Risikopotenzial
  - Wirkungen unterschiedlich, bei Lungenmilzbrand Letalität nahezu 100 %
  - bei waffenfähigem Anthrax hohes Risikopotenzial
  - keine Ansteckungsgefahr
- Verfügbarkeit
  - Anthrax-Sporen natürlich vorkommend
  - waffenfähiges Anthrax schwer verfügbar
- Möglichkeiten der Herstellung/Stabilität des Erregers
  - bei natürlichem Anthrax kein großes „Know-how“ erforderlich
  - deutlicher Unterschied zu waffenfähigem Anthrax
- Ausbringungsmöglichkeiten/Erfolgsaussichten
  - waffenfähiges Anthrax in Klimaanlage und Belüftungsschächten (Aerosole)
  - kein Impfstoff (im zivilen Bereich)
- Wahrscheinlichkeit des Einsatzes -> mittelmäßig

*Rizin*

- Risikopotenzial
  - hochwirksames Zytotoxin, Toxizität im Vergleich zu Botulinumtoxin gering
  - keine Ansteckungsgefahr
  - vergleichbar mit C-Waffen-Einsatz
- Verfügbarkeit
  - leicht verfügbar (Internetversandhandel)
  - kostengünstig
- Möglichkeiten der Herstellung/Stabilität des Erregers
  - Produktion auch in großen Mengen einfach
- Ausbringungsmöglichkeiten/Erfolgsaussichten
  - Einbringung in die Lebensmittelkette effektiv
  - Diagnostik nach bereits kurzer Zeit schwer
  - kein Gegenmittel existent
- Wahrscheinlichkeit des Einsatzes eher hoch

**Vorgehen der Polizei***Vorfeldmaßnahmen der Berliner Polizei*

Das heißt unter anderem

- Kompetenzbündelung in einer Organisationseinheit, Kontaktaufnahme und Koordinierung mit polizeiinternen und -externen Akteuren,
- die Vorbereitung von verbindlichen Handlungsabläufen für den Gefahrenfall (Einsatzhinweise für polizeiliche Maßnahmen beim Auffinden bzw. Androhen der Verbreitung verdächtiger Gegenstände als Träger möglicher biologischer/chemischer Substanzen),
- Sensibilisierung der Einsatzkräfte und Anschaffung bzw. Bereitstellung geeigneter Schutzausrüstung sowie Ausbildung der Kollegen,
- Durchführung von Sicherheitsgesprächen mit anderen Behörden und Firmen.

## Ablauf einer Gefährdungseinschätzung

- Die zuerst am Fundort eintreffenden Kräfte sperren den Fundort ab und informieren unverzüglich das Lagezentrum (LZ).
- LZ prüft in Absprache mit Fachdienststellen des LKA die Ernsthaftigkeit einer biologischen Gefahrenlage.
- Aussage über die Ernsthaftigkeit (ja/nein).
- Alarmierung der zuständigen Fachdienste (Berufsfeuerwehr, Amtsarzt, Dauerdienst Staatsschutz), wenn Ernsthaftigkeit vorliegt, Entscheidung der Berufsfeuerwehr oder des Amtsarztes über die Absperrung bzw. Räumung des Gefahrenbereichs.

## Maßnahmen vor Ort/Organisationsaufbau

Für die Bewältigung von außergewöhnlichen Lagen sieht die Polizeistruktur „Besondere Aufbauorganisationen“ vor. Dabei werden folgende Bereiche berücksichtigt:

- Aufklärung/Observation
- Schadensort (Probennahme und -transport)
- Absperrung
- Schutz/Evakuierung
- Verkehrsmaßnahmen
- Kriminalpolizeiliche Katastrophenkommission
  - Ursachenermittlung/Strafprozessuale Maßnahmen
  - BKA-Übernahme bei terroristischen Anschlägen
  - Hinweisbearbeitung/-aufnahme
  - Gefahrenermittlung
- Öffentlichkeitsarbeit
- Logistik
- Reserve

## Übergreifende Zusammenarbeit

Ein bioterroristischer Anschlag betrifft zahlreiche Behörden und Einrichtungen, die im Anschlagsfall koordiniert zusammenarbeiten müssen. Der Polizei kommt dabei nur eine Aufgabe von vielen zu.



Koordiniert werden müssen u. a.:

- Gesundheitsamt
- Feuerwehr
- Senatsverwaltung für Inneres
- Krankenhäuser
- niedergelassene Ärzte
- Robert Koch-Institut (RKI) und Institut für Lebensmittelsicherheit, Arzneimittel und Tierseuchen (ILAT)
- Bundespolizei
- Bundeswehr
- Hilfsorganisationen (THW, DRK, Malteser etc.)

### **Zusammenfassung**

Es bleibt festzuhalten, dass das Thema Bioterrorismus äußerst vielschichtig ist und durch viele Faktoren beeinflusst wird. Auf Grund der Vielzahl der möglichen biologischen Erreger und deren unterschiedlichen Ausbringungsvarianten ist es nahezu unmöglich, das wahrscheinlichste Szenario für einen biologischen Angriff zu prognostizieren. Für die Sicherheitsbehörden bedeutet dies, grundsätzliche Handlungsabläufe und Verfahrensweisen zu erarbeiten, die möglichst auf alle denkbaren Szenarien anzuwenden sind.

Sollte es zu einem bioterroristischen Anschlag kommen, wäre die Rolle der Polizei nur eine unter vielen. Ein solches Szenario wäre maßgeblich durch das Zusammenspiel sämtlicher Akteure bestimmt, die darauf angewiesen sind, dass ein möglichst koordiniertes Vorgehen gewährleistet ist.

Trotz aller Bemühungen und erkannten Handlungsbedarfs ist es bisher nicht gelungen, eine Vor-Ort-Detektion für biologische Erreger im nichtmilitärischen Bereich zu ermöglichen. Nach wie vor sind eine Probennahme am Tatort und die Verbringung in ein qualifiziertes Labor unumgänglich.



## **2.3 Maßnahmen der Feuerwehr und anderer Einsatzkräfte bei Einsätzen mit Gefahren durch B-Gefahrstoffe**

*Albrecht Broemme*

### **Zusammenfassung**

Das Thema „Gefahren durch B-Gefahrstoffe“ ist auch für die Feuerwehr ein wichtiges Thema. „Bio-Gefahren“ in Form von Infektionsgefahren kommen im Alltag des Rettungsdienstes immer wieder vor, hier helfen meistens konsequente Hygienemaßnahmen. Eine andere Gefahr geht von den Laboren aus. Diese sind jedoch angemeldet und besonders gekennzeichnet, für die Feuerwehr gibt es in diesem Fall besondere Einsatzpläne.

Jeder Feuerwehrmann erhält während seiner Ausbildung auch Kenntnisse über atomare, biologische und chemische Gefahren sowie die Grundzüge der Einsatztaktik bei ABC-Einsätzen. Grundlagen sind bei derartigen Einsätzen: Abstand halten – absperren – festgelegte Schutzkleidung sowie Geräte benutzen – Ausbreitung der Gefahr minimieren – messen bzw. Proben nehmen.

Planungen, Ausstattung, Ausbildungen und Übungen im ABC-Dienst des Katastrophenschutzes sind zwar umfangreich, weisen aber immer noch Lücken auf. So ist z. B. die Dekontamination von Verletzten bislang nicht organisiert. Obwohl „Bio-Terror“ extrem unwahrscheinlich ist, muss angestrebt werden, diese offenen Punkte bis zur Fußball-WM im Juni 2006 zu schließen. Ein aktueller Fall in Berlin zeigt leider, dass von einer Einsatzstelle Kakerlaken in mehrere Feuerwachen verschleppt wurden, obwohl diese B-Gefahr erkannt war und Gegenmaßnahmen ergriffen wurden.

### **Gefahren durch B-Gefahrstoffe für die Feuerwehr**

Die Gefahren durch biologische Agenzien ist für die Feuerwehr ein wichtiges Thema im Rettungsdienst, im vorbeugenden Brandschutz, bei Feuerwehreinsätzen und im Katastrophenschutz. Betrachtet man die Ansteckungsgefahren, mit denen die Feuerwehr im Rettungsdienst täglich mehrmals konfrontiert

wird, sind Gefahren durch biologische Agenzien eigentlich keine Besonderheit. Im Rettungsdienst stehen an erster Stelle die Hygienemaßnahmen, um Ansteckungen zu vermeiden. Bei drohenden Seuchen wie z. B. der Maul- und Klauenseuche, dem Rinderwahn, der Schweinepest oder der aktuellen Vogelgrippe erlangen derartige Gefahren zeitweilig sogar eine gewisse Brisanz.

Bereits in der Grundausbildung lernt jeder Feuerwehrmann die Gefahren der Einsatzstelle kennen. Hierbei wird nach folgendem einfachen Merkschema „AAAACEEEE“ vermittelt:

- Ausbreitung der Gefahr
- Atemgifte
- Angstreaktionen
- Atomare (und biologische) Gefahren
- Chemische Gefahren
- Elektrische Gefahr
- Einsturzgefahr
- Explosionsgefahr
- Erkrankungsgefahr

Biologische Gefahren werden in diesem Schema zusammen mit den Gefahren radioaktiver Strahlungen bzw. Stoffe erwähnt. Hierfür gibt es zwei Gründe: zum einen sind die Schutzmaßnahmen der Feuerwehren – was zunächst verblüffen mag – in beiden Fällen ähnlich (Abstand wahren und richtige Ausrüstung benutzen), zum anderen sind Einsätze mit B-Gefahren sehr selten.

### **Ein aktueller Einsatz mit biologischem Hintergrund in Berlin**

Gerade während des Kongresses „GERMAN BIOSAFETY“ des Robert Koch-Instituts gab es in Berlin und im angrenzenden Landkreis Barnim einen denkwürdigen Einsatz mit biologischem Hintergrund: am 12. September 2005 fing bei Bernau eine riesige Müllhalde zu brennen an, in der nicht nur, wie in Müllkippen üblich, viele Ratten leben sondern auch Unmengen von Küchenschaben. Die Kakerlaken ernährten sich von den Marktabfällen, die neben Bauschutt, Gewerbemüll und Kunststoffen deponiert wurden. Die Kakerlaken-Plage belästigte die Einsatzkräfte am Brandort und veranlasste die örtliche Einsatzleitung, für die Einsatzfahrzeuge eine Durchlassstelle mit Desinfektion

einzurichten. Hiermit gelang es nicht, die Verschleppung von Kakerlaken nach außen zu verhindern. Dieses hartnäckige Ungeziefer bzw. dessen Eier hingen noch im Profil von Schuhwerk und Reifen, es saß zwischen der Ausrüstung und in der Schutzkleidung. Ein logistisches Problem waren Reinigung und Desinfektion der Schutzkleidung der über 500 Berliner Einsatzkräfte, weswegen die Einsatzfähigkeit einzelner Freiwilliger Feuerwehren zeitweise eingeschränkt war. Die Desinfektion der Feuerwehr arbeitete rund um die Uhr. Mehrere Feuerwachen in Berlin und im Umland mussten von Schädlingsbekämpfern kontrolliert und teilweise behandelt werden. Mit eindringlichen Informationen an die Einsatzkräfte konnte verhindert werden, Ungeziefer in die Wohnungen der Feuerwehrleute zu verschleppen.

## **Fazit**

Obwohl bereits zu Beginn des Einsatzes die Ungezieferplage bekannt war, ist es nicht gelungen, die Einsatzkräfte und die Umgebung der Einsatzstelle vor dieser „Bio-Gefahr“ hinreichend zu schützen.

## **Die Feuerwehr-Dienstvorschrift 500**

Feuerwehr-Dienstvorschriften (FwDV) sind bundesweit einheitliche Richtlinien zur Vorbereitung und Durchführung von Feuerwehr-Einsätzen. Vorläufer der FwDV 500 waren die FwDV 9, die Richtlinie 10.2 der „Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes (vfdb)“ sowie die Katastrophenschutz-Dienstvorschrift 500 (KatS-DV 500 Der ABC-Zug) und KatS-DV 520 (Geräte und Hilfsmittel des ABC-Zuges). Die Feuerwehr-Dienstvorschrift FwDV 500 enthält Regelungen zur Ausbildung und zum Einsatz von ABC-Einheiten. Ein Schwerpunkt ist die Festlegung der jeweiligen Schutz- und Sonderausrüstung, um derartige Einsätze mit möglichst geringen Risiken für die Helfer durchführen zu können. Besondere Bedeutung bei ABC-Einsätzen kommt der Festlegung der Absperrgrenzen sowie der konsequenten Absperrung zu.

Wie bei allen Feuerwehreinsätzen hängt der Erfolg bei ABC-Lagen ganz wesentlich von der Erkundung ab, die immer wieder fortgesetzt und vertieft werden muss. Schnell muss Klarheit darüber gewonnen werden, mit welchen B-Gefahrstoffen die Einsatzkräfte zu tun haben. Anders als bei atomaren

Lagen oder Gefahrstoffeinsätzen gibt es bei B-Lagen noch keine zuverlässigen, mobilen Analysegeräte. Neue Entwicklungen, die diese Lücke schließen, sind angekündigt, müssen aber noch erprobt werden.

Im „Abschnitt B-Einsatz“ der FwDV 500 steht die Einteilung der B-Gefahrstoffe in vier (genauer fünf) Risikogruppen gemäß der Biostoff-Verordnung (BioStoffV):

**Risikogruppe 1:** Biologische Arbeitsstoffe ohne Infektionsrisiko für Menschen.

**Risikogruppe 2:** Krankheiten können hervorgerufen werden, eine Verbreitung in der Bevölkerung ist aber unwahrscheinlich, weil wirksame Vorbeugung und Behandlung möglich sind.

**Risikogruppe 3:** Personen, die mit biologischen Arbeitsstoffen dieser Risikogruppe umgehen, können sich schwere Erkrankungen zuziehen, eine Verbreitung in der Bevölkerung kann bestehen, aber eine wirksame Vorbeugung und Behandlung sind möglich. (Anmerkung: Zur Risikogruppe 3 gehört auch die Risikogruppe 3\*\*, auf die hier nicht eingegangen wird.)

**Risikogruppe 4:** Biologische Arbeitsstoffe der Risikogruppe 4 können eine schwere Krankheit beim Menschen hervorrufen und die Gefahr einer Verbreitung unter der Bevölkerung ist groß, weil wirksame Vorbeugung oder Behandlung normalerweise nicht möglich ist.

Für Labore gibt es drei „Gefahrengruppen für den Feuerwehreinsatz“ (I B, II B, III B), deren Zuordnung im Wesentlichen von der Risikogruppe der biologischen Arbeitsstoffe abhängt. Die Bereiche müssen mit einem Schild „B I“ oder „B II“ oder „B III“ gekennzeichnet sein.

Die Maßnahmen der Feuerwehr sind je nach der Risikogruppe der im Labor benutzten biologischen Arbeitsstoffe unterschiedlich gestuft. Vorrangig sind die Bestrebungen, die Einsatzkräfte der Feuerwehr nicht unmittelbar mit biologischen Agenzien dieser Forschungs-, Entwicklungs- oder Produktionslabore in Berührung kommen zu lassen. Einfach und wichtig ist der Grundsatz, dass nur so viele Einsatzkräfte in den Bereichen mit B-Gefahr einzusetzen sind, wie

unbedingt erforderlich sind. Die Schutzausrüstung für die Einsatzkräfte richtet sich nach der Gefahrengruppe.

Bei **Gefahrengruppe I B** ist eine Sonderausrüstung nicht erforderlich.

Bei **Gefahrengruppe II B** müssen mindestens ein geeignetes zugelassenes Filtergerät (z. B. Vollmaske und Atemfilter der Schutzstufe P3 – Feuerwehrfilter), die Feuerwehrsutzhkleidung (DIN EN 469 bzw. HuPF Teil 1 und 4) mit Kontaminationsschutzhaube oder ein geeigneter Folien- / Einwegschutzanzug sowie Gummihandschuhe und Gummistiefel angelegt werden.

Bei Einsätzen in Bereichen der **Gefahrengruppe III B** sind mindestens ein geeignetes, zugelassenes Isoliergerät (z. B. Vollmaske und Atemfilter der Schutzstufe P3 – Feuerwehrfilter) oder ein umluftunabhängiges Atemschutzgerät, ein Wasser abweisender, flüssigkeits- und aerosoldichter Kontaminationsschutzanzug oder ein flüssigkeitsdichter Folien- oder Einwegschutzanzug sowie Gummihandschuhe und Gummistiefel anzulegen. Mit Klebeband müssen die Verbindungsbereiche (z. B. Maske / Folien- / Einwegschutzanzug) abgedichtet werden. Bereiche der Gefahrengruppe III B, in denen mit biologischen Arbeitsstoffen der Sicherheits- / Schutzstufe oder Risikogruppe 4 umgegangen wird, dürfen – auch zur Menschenrettung – von der Feuerwehr nur dann betreten werden, sobald ein „Erlaubnisinhaber nach Infektionsschutzgesetz“ oder eine fachkundige Person anwesend ist, die im Rahmen einer zwischen Betreiber und Feuerwehr geschlossenen Handlungsvereinbarung benannt ist.

Weitere Festlegungen der FwDV 500 betreffen die Schadensbegrenzung, die Dekontamination (als Desinfektionsmittel im Feuerwehreinsatz werden Produkte mit Peressigsäure mit definierter Säurekonzentration empfohlen), Arbeitgeräte und Verbrauchsmaterialien (Folien, Folienschweißgeräte, Beutel usw.), das Ein- und Ausschleusen sowie die ärztliche Nachbetreuung.

## Risiken von B-Anschlägen

Feuerwehreinsätze in genehmigten, gekennzeichneten B-Laboren sind selten, aber sie sind – im Gegensatz zu Terroranschlägen mit biologischen Stoffen – relativ gut planbar und durchführbar. Was aber tut die Feuerwehr bei einem „Bio-Anschlag“? Fest steht:

- Die weltweit erfolgten Terroranschläge der letzten Jahre zeigen, dass der Phantasie von Terroristen offensichtlich keine Grenzen gesetzt sind. Mithin ist es also unmöglich, anhand von bestimmten Szenarien Einsatzkonzepte und Einsatzpläne zu entwickeln, nach denen Feuerwehreinsätze nach Terroranschlägen durchgeführt werden.
- Bisher ist kein Anschlag mit B-Gefahrstoffen in jüngerer Zeit bekannt. Hierfür gibt es meiner Meinung nach folgende Gründe: Zum einen sind „Bio-Anschläge“ bei der Vorbereitung und bei der Durchführung sehr kompliziert und zugleich unsicher, zum anderen hängt die Wirkungen eines B-Anschlags von vielen, zufälligen Parametern ab. Dagegen haben Anschläge mit konventionellen Bomben direkte Auswirkungen und ermöglichen, ggf. aufgrund von Bekennerschreiben, die unmittelbare Zuordnung zu Terrorgruppen und damit zu deren Zielen.
- Trotzdem haben viele Menschen – auch die Einsatzkräfte der Feuerwehr – Angst vor B-Terrorismus. Diese Angst führte z. B. dazu, dass alle europäischen Staaten Vorräte für Pocken-Impfstoff angelegt haben. Diese Maßnahme hat mehrere Millionen Euro gekostet, kann aber trotzdem keinen garantierten Schutz vor Pocken bieten: es könnten gentechnisch veränderte Pockenstämme verwendet werden, die Impfdosis wurde auf 10 Prozent reduziert, innerhalb von wenigen Tagen müssten Millionen geimpft werden wobei Menschen mit Immunschwäche nicht geimpft werden dürfen.

## **Fazit**

Ich halte „Bio-Terrorismus“ nur für eine hypothetische Gefahr. Da sie aber nicht völlig ausgeschlossen werden kann und da sie subjektiv hoch bewertet wird, kann sie nicht ignoriert werden.

Sofern tatsächlich ein B-Anschlag stattfände, wäre das Hauptproblem der Umstand, dass man zunächst wahrscheinlich gar nichts von einer Gefahr durch B-Gefahrstoffe bemerken würde – es sei denn, es gäbe vor oder nach dem Anschlag „zuverlässige“ Hinweise. Beim unerkannten Anschlag würden sich, je nach den einzelnen Umständen, die Auswirkungen also kaskadenartig ausbreiten können. Es ist zu vermuten, dass beobachtbare Symptome erst am zweiten oder dritten Behandlungstag zur richtigen Diagnose führen. Dieser – vermutlich unvermeidbare – Zeitverlust verkürzt die Reaktionszeit, die man z. B. zur Impfung der Bevölkerung bräuchte.



## **Anthrax-Alarme**

Nach dem 11. September 2001 gab es in Deutschland mehrere hundert „Anthrax-Alarme“. Es waren teils plumpe, teils raffiniert angelegte Versuche, deutsche Behörden „auf Trapp zu halten“ und die Öffentlichkeit zu beunruhigen. In der Tat zeigten aber diese Alarme, dass es damals nur lückenhafte wissenschaftlich und administrativ sinnvolle sowie professionelle Verfahren für derartige Lagen gab.

Richtig ist in solchen Fällen folgende systematische Vorgehensweise:

1. Sofort konsequent den fraglichen Bereich absperren (Türen zulassen, Kennzeichnung, Bewachung).
2. Möglicherweise kontaminierte Personen getrennt und isoliert warten lassen, bis der örtlich zuständige Amtsarzt über die weiteren Maßnahmen (u. a. Behandlung oder Nichtbehandlung) entscheidet.
3. Probenahme und Probentransport von der Polizei in ein geeignetes Labor der Region zur Untersuchung. Die Befunde liegen – anders als 2001 – bereits nach einigen Stunden vor. Eine Vor-Ort-Analytik wird derzeit noch entwickelt bzw. getestet.
4. Sofern es sich um geringe Mengen der verdächtigen Substanz handelt und nur wenige Sachen kontaminiert sein könnten, können Fachleute mit Schutzkleidung und Atemschutz diese Sachen bergen und in Tüten einschweißen.
5. In der Regel wird das herangezogene Labor „Entwarnung geben“. Bei positivem Laborbefund ist zunächst eine weitere Untersuchung im zuständigen Zentrallabor erforderlich. Dies ist z. B. für Anthrax das Robert Koch-Institut (RKI) in Berlin. Erst hier wird der Befund bestätigt oder widerlegt.
6. Wichtig ist eine abgestimmte Medienarbeit. Die Medien müssen stets von kompetenten Fachleuten über den Stand des Einsatzes informiert werden. „Salami-Taktik“, Halbwahrheiten oder Irrtümer darf es nicht geben.

Diese Vorgehensweise muss geplant, zwischen den beteiligten Stellen abgestimmt und geübt werden, damit sie im Ernstfall auch funktioniert.

## Der ABC-Dienst im Katastrophenschutz

Der ABC-Dienst ist eine Aufgabe des (erweiterten) Katastrophenschutzes, sie wird flächendeckend von den Feuerwehren durchgeführt. Örtlich wirken die Polizei, Hilfsorganisationen und die DLRG mit. Die Helfer des ABC-Dienstes erhalten zusätzlich zur „normalen“ organisationsinternen Ausbildung ABC-Lehrgänge, die sie befähigen sollen, die Fahrzeuge und Geräte zu bedienen und ABC-Lagen fachgerecht beherrschen zu können.

Im Rahmen seiner Zuständigkeit für den ABC-Dienst hat der Bund den Ländern bisher 440 ABC-Erkundungsfahrzeuge (ABC-ErkKW) und 440 Dekontaminationsfahrzeuge für Personen (Dekon-P) beschafft und ausgeliefert. In Planung sind 220 Fahrzeuge zur Dekontamination von Geräten (Dekon-G) sowie ABC-Messleitfahrzeuge, die erst noch entwickelt werden müssen.<sup>1</sup>

Übungen sind im ABC-Dienst besonders wichtig, weil – in der Regel – die Praxis fehlt. Erforderlich sind lokale, regionale und überregionale Übungen. Deshalb führten beispielsweise die Feuerwehren aus Berlin, Hamburg und Mecklenburg-Vorpommern im August 2005 Katastrophenschutzübungen in Güstrow und in Berlin durch. Hier wurden u. a. unterschiedliche Konzepte zur Dekontamination von Personen erprobt. In Güstrow erfolgte die Grobdekontamination in der Nähe der Anschlagstelle mit Hilfe von Strahlrohren der Feuerwehr, die eine „Wassergasse“ bildeten. In Berlin erfolgte die Grobdekontamination dagegen im nächsten geeigneten Schwimmbad. Diese Erprobungen müssen ausgewertet werden und es muss – bundesweit – entschieden werden, welche Methode die praktikablere ist. Hierzu gab es inzwischen zwei Seminare an der Akademie für Notfallplanung und Zivilschutz (AKNZ).

Folgender Umstand wird bislang nicht hinreichend beachtet: Auch ABC-Einsätze fangen damit an, dass erst „normale“ Feuerweereinheiten alarmiert

1 Anmerkung: Während der Bundesminister des Innern den ABC-Dienst (wieder) aufbaut, wird bei der Bundeswehr der ABC-Dienst halbiert, zwei der vier ABC-Abwehr-Bataillone werden ersatzlos aufgelöst. Ich bezweifle, ob das Sparen bei der Bundeswehr und die Investitionen beim Innenministerium fachlich oder politisch abgestimmt sind.

werden, eintreffen und mit Erstmaßnahmen anfangen. Daher müssen nicht nur die ABC-Einheiten, sondern alle Kräfte der Feuerwehren und des Rettungsdienstes wissen, welche Erstmaßnahmen wichtig und richtig sind.

**Bei ABC-Einsätzen kommt es darauf an, praktikable Standardmaßnahmen zu definieren, die in der Regel richtig bzw. vertretbar sind. Die Feuerwehren – und auch die ABC-Einheiten – wären überfordert, fallweise sehr spezielle Einzelmaßnahmen trainieren und anwenden zu müssen.**

Das Konzept zur Behandlung vieler kontaminierter Personen könnte folgendermaßen aussehen:

- Die (möglicherweise) kontaminierten Personen müssen „zusammengehalten“ werden, damit keine Verschleppung eintritt. Hier ist vorrangig die Polizei gefordert.
- Die erste Maßnahme zur Dekontamination ist grundsätzlich das Ablegen von Kleidungsstücken, die am Ort verbleiben.
- Wertgegenstände sollten in Tüten mit Klippverschluss verwahrt werden und bei den Besitzern verbleiben. Übungen zeigten, dass das sorgfältige Registrieren viel zu lange dauert.
- Mit jedem Feuerwehrfahrzeug lässt sich eine Spot-Dekontamination durchführen, indem kontaminierte Partien mit viel Wasser gereinigt werden (Augen, Hände, Arme usw.). Auch diese Maßnahme muss geschult und geübt werden.
- Mit Hilfe von zwei Löschfahrzeugen und vier Strahlrohren an Stützkrümmern kann bei Bedarf eine Duschgasse aufgebaut werden, um eine Grobdekontamination auch ohne die „Dekon-Stelle P“ zu ermöglichen. Auch diese taktische Maßnahme muss geschult und geübt werden. Wegen der Verschleppungsgefahr muss beim Verlassen dieser Bereiche auf die Fußdekontamination geachtet werden.
- Analog zum Massenansturm von Verletzten (MANV) erfolgt die Triage, um die Reihenfolge der zu Dekontaminierenden festzulegen. Hierzu müssen Ärzte mit erforderlichem Eigenschutz auch im unreinen Bereich agieren. Schwerverletzte, die unverzüglich in einem Krankenhaus behandelt werden müssen, werden nach ärztlicher Entscheidung auch ohne Feindekontamination abtransportiert.
- In Großstädten bieten sich zur Dekontamination die Duschbereiche der Hallenbäder an. Das bedeutet, dass Personen nach Ablegen von Kleidung

(= Grobdekontamination) in Mannschaftstransporten und Bussen von der Einsatzstelle zu Hallenbädern verbracht werden, was psychologische Vorteile bieten dürfte. Auch diese Vorgehensweise muss geplant und geübt werden.

- Viele Krankenhäuser erwarten, dass bei ihnen nur dekontaminierte Patienten ankommen, was nicht zu garantieren ist: Einerseits werden sich bei einem Massenansturm von Verletzten immer etliche Menschen „auf eigene Faust“ oder mit Hilfe von Passanten in irgendein Krankenhaus begeben – und zwar ohne jede Dekontamination. Andererseits müssen Verletzte mit lebensbedrohlichen inneren Verletzungen rasch operiert werden, auch wenn sie nur grob dekontaminiert wurden (Kleidung abgelegt, ggf. Spot-Dekontamination). Daher muss jedes Krankenhaus Pläne erstellen und sich darauf vorbereiten, wie mit kontaminierten Patienten umgegangen wird.
- ABC-Einheiten werden an der Einsatzstelle benötigt, ggf. bei der ortsfesten Dekon-Stelle (Schwimmbad) sowie ggf. an Krankenhäusern.

## Ausblick

Die Vorbereitungen für die Fußball-Weltmeisterschaft 2006 erfordern umfangreiche Planungen und Einsatzkonzepte, die auch den ABC-Dienst betreffen. Spätestens bis Mai 2006 muss der Massenansturm von Verletzten – bis hin zu 1.600 Verletzten in einer Stadt – ein zu bewältigendes Ereignis sein. ABC-Lagen, so unwahrscheinlich sie sein mögen, müssen ebenfalls geplant und geübt werden.

Derzeit noch offen ist der Punkt, wie man mit kontaminierten, verletzten Menschen umgeht. Einerseits erwarten die Krankenhäuser die Dekontamination von Verletzten örtlich und zeitlich vor der klinischen Behandlung. Andererseits haben Übungen in Paris und in London gezeigt, dass die klassische Grob- und Feindekontamination für viele Schwerverletzte den Tod bedeuten würde. Hier gibt es also noch viel zu tun. Gerne hätte ich ein perfektes Konzept zur erfolgreichen Abwehr der Gefahren durch B-Gefahrstoffe vorgestellt. Bislang verfügt die Feuerwehr nur über bescheidene „Kochrezepte“. Alle Fachleute der Forschung, der Industrie und der Fachinstitutionen sind aufgerufen, gemeinsam mit der Feuerwehr einfache, praktikable und finanzierbare Verfahren zu entwickeln. Ein Kongress wie GERMAN BIOSAFETY des RKI kann hierbei gute Beiträge leisten.

# 3

## Persönliche Schutzausrüstung



## 3.1 Einleitung

*Willy Marzi · Bernhard Preuss*

„Die Helfer müssen einen Rettungseinsatz gesund überleben.“ Diese etwas plakativ wirkende Aussage fasst das Ziel unserer Bemühungen zusammen, die optimalen Schutzmaßnahmen zu ergreifen. Das Problem ist komplex:

- der optimale Schutz der Helfer steht ganz oben,
- gleichzeitig darf die Schutzausrüstung bei den notwendigen Arbeiten möglichst wenig behindern
- und die Einsätze sollten so wenig wie möglich körperlich belastend sein.

Unbestritten hilft es, wenn der Helfer mit seinem Equipment vertraut ist und wenn er darauf vertrauen kann, dass es seinen Zweck erfüllt. Diese Anforderungen für die verschiedensten Einsatzsituationen mit einer einzigen Ausrüstung zu gewährleisten, ist sehr schwierig und bedarf einer längeren iterativen Annäherung, in der in kleinen Schritten immer wieder Verbesserungen ausprobiert und eingeführt werden. Die Balance zwischen dem Maximum an Schutz und den Möglichkeiten der praktischen Anwendbarkeit muss situationsabhängig austariert werden. Dabei ist es eher kontraproduktiv, wenn diese ohnehin schon schwierige Balance von interessengeleiteter Intervention zum Teil erheblich beeinträchtigt wird. Auch der Verweis auf ein imaginäres ‚Restrisiko‘, der einen immer noch viel stärkeren Schutz und eine immer noch aufwändigere weitere Aufrüstung fordert, ist in diesem Zusammenhang möglicherweise wenig hilfreich.

Es ist festzustellen:

**In keinem Fall ist ein Hilfseinsatz, egal welcher Art, ungefährlich.**

Jeder Einsatz hat ein ‚Restrisiko‘, das deutlich über dem Risiko eines Normalbürgers liegt, zum Beispiel von einem ausgebrannten Satelliten erschlagen zu werden. Es ist ein Kompromiss zu finden, der eine möglichst breite Ausstattung

mit hochwertiger und funktionaler Ausrüstung und gleichzeitig die Arbeitsfähigkeit unter Praxisbedingungen erlaubt. Dabei steht nicht die ökonomische Perspektive im Vordergrund, sondern die pragmatische: Je schwerer und dicker die Ausrüstung, desto schwerer kann man darin arbeiten. Natürlich muss man die ökonomische Perspektive im Auge behalten, denn bei der Standardausrüstung von theoretisch über 1 Million Helfern fällt diese gravierend ins Gewicht.

Der Focus der Diskussionen sollte in Zukunft auf eine vernünftige flächendeckende Grundausrüstung für alle und auf der gezielten Spezialausrüstung für besondere Anforderungen liegen.

Die ewige Diskussion mit den Hardlinern über die 180-prozentige Ausstattung behindert seit Jahren eine flächendeckende Ausstattung mit einer wirklich guten Grundausrüstung für alle. Die ewige Mäkelei über die Mängel der bisher beschafften Ausrüstung macht diese mädig und erzeugt bei den Helfern das Gefühl, schlecht ausgestattet zu sein. Das hilft im Einsatz wenig und fördert nicht die Motivation. Es gilt:

Wenn man sich professionell verhält, kann man – besonders in der Biologie – schon mit relativ geringem Aufwand sehr viel Sicherheit erreichen.

Die folgenden Artikel bieten eine Übersicht über die derzeitigen Möglichkeiten, Prioritäten und Entwicklungsmöglichkeiten der persönlichen Schutzsysteme in biologischen Gefahrenlagen.

Der Beitrag von **Rainer Steffens** (DuPont) beschreibt die derzeit auf dem Markt verfügbaren Körperschutzsysteme und setzt sie in Beziehung zu den geltenden Arbeitsschutzrichtlinien und Verordnungen.

Die größte Schwierigkeit beim Einsatz der Schutzkleidung ist die Begrenzung der Tragezeit durch die enormen körperlichen Belastungen aufgrund des Wärmestaus. **Karl Jochen Glitz** (Koblenz) schildert die Erfahrungen aus der Praxis eines Bundeswehrzentralkrankenhauses.

**Wolfgang Guggemoos** (München) schildert die Erfahrung mit persönlicher Schutzausrüstung bei der Behandlung hoch kontagiöser Patienten im Krankenhaus aus Sicht der behandelnden Ärzte und des Pflegepersonals.



**Hans-Ulrich Tobys** (Arbeitssicherheit) beschäftigt sich mit der Schutzwirkung gängiger Mund- und Nasenschutzvorrichtungen für den Behandler.

Ein neues, institutionsunabhängiges Schulungskonzept wird von Jürgen Schreiber (PG 9) vorgestellt, das entwickelt wurde, um Helfer in kürzester Zeit in den wichtigsten Grundlagen der persönlichen Schutzausstattung zu unterweisen.



## 3.2 Körperschutzsysteme gegen biologische Gefahren

*Rainer Steffens*

### Zusammenfassung

Diese Präsentation versucht die wichtigsten Aspekte von Risiken durch biologische Gefahrstoffe am Arbeitsplatz, bei Notfallsituationen und terroristischen Gefahrenlagen zusammenzufassen. Die Vermeidung des Kontakts der Haut mit diesen Gefahrstoffen wird auf der Grundlage von Chemikalienschutzkleidung und den europäischen Anforderungen für Schutzmaterialien gegen infektiöse Agenzien diskutiert. Die Präsentation schließt mit Informationen über die Auswahl von Schutzkleidung gegen biologische Gefahrstoffe und gibt einen Ausblick auf derzeit ungelöste Probleme.

### Einleitung

Bei der Diskussion um biologische Gefahren stehen sehr häufig die presse- und medienwirksamen terroristischen Attacken im Vordergrund. Häufig wird dabei vergessen, dass auch während täglicher Routinearbeiten wie Müllsortierung, Waldarbeiten, Arbeiten in Klärwerken und beim Kompostieren sowie bei vielen medizinischen Tätigkeiten Arbeiter biologischen Gefahrstoffen ausgesetzt sind. Eine weitere Variante der Gefährdung wird durch Personen verursacht, die in endemische Gebiete reisen, bzw. durch infiziertes Material – dazu gehören auch Nahrungsmittel –, das heute über lange Distanzen per Luft- und Schifffracht in relativ kurzer Zeit in nicht-endemische Gebiete gebracht wird. Personen, die aufgrund ihrer Tätigkeit diesen Gefährdungen ausgesetzt sind, brauchen Schutz aus zwei wesentlichen Gründen:

- um nicht selbst zu erkranken,
- um die Umgebung nicht weiter zu infizieren.

## **Terrorismus – Biologische Gefahren**

Terroristische Attacken sind meist auf sehr bekannte Orte und Einrichtungen gerichtet (New York, Washington, London) und haben zum Ziel, in möglichst kurzer Zeit viele Menschen zu schädigen. Aus diesem Grund wurden bei den bisher bekannten Ereignissen biologische Gefahrstoffe benutzt, die ein sehr hohes Opferpotenzial haben. Dabei stand Anthrax (*Bacillus anthracis*) in letzter Zeit an erster Stelle. Pocken, Pest und Tularämie haben das gleiche Potenzial, viele Opfer in kurzer Zeit zu erzeugen.

Interessanterweise müssen aber auch so genannte sekundäre biologische Gefahrstoffe in Betracht gezogen werden. Dabei handelt es sich um Substanzen, die aus biologischer Quelle stammen, wie zum Beispiel: T2-Mycotoxin, Rizin oder das Botulinumtoxin. Der Umgang mit diesen Gefährdungen erfordert einen enormen Aufwand für das Management der Ressourcen und der Logistik genauso wie das „Vorbereitetsein“ (Preparedness). Bezogen auf den Körperschutz heißt das, dass entsprechende Schutzausrüstungen vorhanden sind oder in der gewünschten Zeit am richtigen Ort zur Verfügung stehen. Es bedeutet aber auch, dass die einzusetzenden Helfer bezüglich des korrekten An- und Ablegens der Schutzkleidung trainiert sind.

## **Medizin – Biologische Gefahren**

In der Medizin ist der Kontakt mit infizierten Patienten sowie mit deren Körperflüssigkeiten an der Tagesordnung. Entsprechend sind die Schutzmaßnahmen bereits auf einem guten Niveau, besonders der Handschutz sowie der Mund-Nasen-Schutz. Die klassische Ausbildung von Klinik- und Laborpersonal beinhaltet das Einhalten von Hygieneregeln und vermeidet dadurch bereits einen Großteil der möglichen Infektionswege. Es gibt jedoch immer noch Bereiche, in denen der Schutz des Personals – und dadurch der Umgebung, in dem sich das Personal aufhält – verbessert werden kann:

- im medizinischen Rettungswesen,
- beim Umgang mit infektiösem Klinik- und Laborabfall,

- während der Diagnose & Behandlung außereuropäischer Infektionserkrankungen:
    - Hämorrhagische Fieber
      - Ebola
      - Lassa
    - SARS
    - Malaria
- etc.

Ein Blick auf die Weltkarte der 90er Jahre zeigt, dass solche Infektionserkrankungswellen immer wieder auftreten. Selbst hoch zivilisierte Länder sind davon nicht ausgenommen. Im Wesentlichen gilt auch hier: Management der Information, der Logistik und des Trainings von Mitarbeitern. Ein besonderes Augenmerk gilt dabei den vielen nichtstaatlichen Einrichtungen. Der Schutz durch Schutzbekleidung ist dort nur rudimentär bekannt und es gibt nur wenig gute Information bezüglich Selektion und Gebrauch.

## Zoonosen – Biologische Gefahren

Unter Zoonosen versteht man infektiöse Tiererkrankungen, die auf den Menschen übertragen werden.

Erkrankung	Species	Übertragung durch	Tier
Brucellose	Bakterium	Milch, Käse	Rinder, Ziegen, Schafe
Echinokokkose	Parasit, Bandwurm	Kontakt, Waldfrüchte	Hund, Fuchs
Giardiasis	Parasit, Protozoon	Nahrung, Wasser	Kaninchen
Hanta-Virus	Virus	Lebensmittel, Staub	Mäuse, Ratten
Kryptosporidiose	Parasit, Protozoon	Lebensmittel, Staub	Kälber, Nutztiere
Leptospirose	Bakterium	Urin, Ausscheidung	Hund, Schwein, Rind, Ratten
Milzbrand (Anthrax)	Bakterium	Wolle, Mehl, Tierfell	Weidetiere
Ornithose	Bakterium	Exkrememente, Sekrete	Papageien, Tauben
Pest	Bakterium	Biss	Nagetiere, Flöhe
Q-Fieber	Bakterium	Ausscheidung, Luft	Rinder, Ziegen, Schafe
Tollwut	Virus	Biss, Hautabschürfungen	Hund, Fuchs, Affen
Toxoplasmose	Parasit, Protozoon	Fleisch, Kontakt	Katzen
Trichinellose	Nematoden	Verzehr Schweinefleisch	Schwein, Wildschwein
Tularämie	Bakterium	Kontakt, Abhäuten	Kaninchen, Hase

Quelle: Epidemiologisches Bulletin Nr. 28 – RKI 2005

Tab. 6: Übertragene Tierkrankheiten

Wie man an der Übersicht des Robert Koch-Instituts (RKI) aus dem Jahr 2005 erkennen kann (Tab. 6), gibt es eine breite Palette von Erkrankungen, wobei die Übertragungswege sehr vielfältig sind. Trotz guter Information gibt es immer wieder Fälle, in denen Toxoplasmose, Hanta-Virus oder Tularämie auf den Menschen übertragen werden. Inwieweit bei solchen Fällen Schutzbekleidung Infektionen verhindern kann, ist nicht so ganz klar, da bei den klassischen Kontakten für diese Exposition üblicherweise Schutzanzüge nicht verwendet werden und wohl auch nicht gefordert werden können.

Anders ist das bei Zoonosen-Gefährdungen, bei denen der Mensch eine aktive, bewusste Handlung vornimmt, wie zum Beispiel bei der Untersuchung von Weidetierherden, der Keulung von Vogelpopulationen etc.. In solchen Fällen sollte Schutzbekleidung für die involvierten Arbeiter dringend empfohlen werden.

## Arbeitsplatz – Biologische Gefahren

Arbeitsplatz	Bio-Gefahrstoff	Erkrankung
Abwasser/ Kläranlagen	<i>Clostridium tetani</i> , Hepatitis, <i>Leptospira interr.</i> , Protozoen, Nematoden	Tetanus, Leptospirose, Hepa- titis, Wurmerkrankung
Archive, Bibliotheken, Museen	Schimmel	Aspergillose
Bergwerke	<i>Leptospira interrogans</i>	Leptospirose
Fischereien	<i>Leptospira interrogans</i>	Leptospirose
Fleischverarbeitung	Prionen, <i>E. coli</i> , Salmonellen, Anthrax	Lebensmittel, Staub
Forstwirtschaft	FSME-Virus, <i>Borrelia burgd.</i> , Rabiesvirus	vCJK, Urogenitaltraktinfekti- onen, Enteritis, Milzbrand
Gärtnereien	<i>Clostridium tetani</i>	FSME, Borreliose, Tollwut
Gesundheitswesen	HBV-Virus, <i>M. tuberculosis</i> , <i>B.</i> <i>pertussis</i> , HIV	Hepatitis, Tuberkulose, Keuchhusten, AIDS
Landwirtschaft (Getreide, Milch, Tiere)	<i>Leptospira interr.</i> , <i>Brucella</i> <i>spec.</i> , <i>Coxiella burnetii</i> , Milben	Leptospirose, Brucellose, Q-Fieber, Allergien
Lederindustrie	<i>Bacillus anthracis</i>	Milzbrand
Müll-/Abfallindustrie	Schimmel, Enteroviren und Bakterien	Aspergillose, Gastroenteritis
Reinigungsgewerbe	<i>E. coli</i> , Salmonellen	Urogenitaltraktinfektionen, Enteritis
Vogelzucht	<i>Chlamydia psittaci</i> , <i>Cryptoc.</i> <i>neoformans</i>	Ornithose, Kryptokokkose
Wasserwirtschaft	Legionellen	Legionärskrankheit

Quelle: HBGV: „Biologische Einwirkungen“

Tab. 7: Biologische Gefahren am Arbeitsplatz



Die hier gezeigte Übersicht des HVBG bezüglich der Arbeitsstätten und der jeweiligen Biogefährdungen kann das gesamte Bild nur auszugsweise darstellen. Viele der dargestellten Erkrankungen sind sehr schwerwiegend und bedürfen oft einer langwierigen Behandlung, sofern überhaupt möglich. Ein Schutz am Arbeitsplatz, wo solche Expositionen möglich sind, sollte daher nach den klassischen Regeln des Arbeitsschutzes erfolgen:

- Risikoanalyse,
  - Wege zur Vermeidung der Kontamination und,
  - falls Kontamination nicht zu vermeiden ist, Einsatz von PSA
- etc.

Bei der Auswahl von PSA muss nicht nur der direkte Schutz vor dem Bio-Gefahrstoff als Selektionskriterium herangezogen werden. Die Übertragungswege spielen dabei eine mindestens gleiche Rolle.

### **Übertragungswege – Biologische Gefahren**

Bei den Übertragungswegen unterscheidet man üblicherweise zwischen direkten und indirekten Übertragungswegen. Bei den direkten Übertragungswegen ist das Kontakttagens auch gleichzeitig der Gefahrstoff, während bei den indirekten Übertragungswegen ein Zwischenwirt als Gefahrstoffträger fungiert. Der erforderliche Schutz durch Kleidung kann dabei schon unterschiedlich sein. Feinste Tröpfchen und kleinste Partikel brauchen eine entsprechende Barriere aller Bauteile eines Anzugs. Wenn aber Vektoren bzw. deren Aktionen ins Spiel kommen, ist häufig die Robustheit eines Anzugs sehr wichtig. Hier muss die Risikoanalyse nicht nur die Exposition wiedergeben, sondern eine vollständige Betrachtung des gesamten Aktionsraumes wird sehr wichtig.

Das gilt genauso für die Infektionsketten. Eine homologe Infektionskette im Krankenhaus erfordert eine andere Schutzkleidung als eine Infektionskette im Demonstrationsumfeld, wo Gewalt ein Teil der Exposition ist. Viele Schutzanzüge sind für hohe physikalische Belastungen nicht konzipiert. So kann es auch schon beim Keulen von Geflügel dazu kommen, dass die Barriere einer PSA unbrauchbar wird, weil Tiere sich wehren oder der Anzug durch die rigorosen Bewegungen einreißt.

## **Schutz – Biologische Gefahren**

Für den Schutz einer Person gegen biologische Gefahren müssen gewisse Grundregeln gelten:

- Ausschließen der Übertragungswege
- Unterbrechung der Infektionsketten
- Reduktion der Keimzahlen

Diese Grundregeln sind im Wesentlichen in den rechtlichen Verordnungen verankert, die in Deutschland zur so genannten Biostoffverordnung geführt haben. Dort werden die Biostoffe entsprechend ihres Gefährdungspotenzials in Gruppen eingeteilt, wird eine Risikoanalyse gefordert, Schutzmaßnahmen und Schutzausrüstungen sind danach zu definieren. Der sehr wichtige Teil der Ausbildung der betroffenen Mitarbeiter macht den Maßnahmenkatalog komplett. In die Definition der biologischen Arbeitsstoffe wurden nicht nur Viren, Bakterien und Parasiten, sondern auch die subviralen Partikel – Auslöser von BSE und ähnlichen Erkrankungen – aufgenommen. Betrachtet man die vier Risikogruppen, so fällt auf, dass wir bezüglich der realen Gefährdung eine Trennungslinie zwischen Risikogruppe 2 und 3 ziehen können. Ab der Risikogruppe 3 sind Schutzmaßnahmen durch konsequente Verwendung von PSA unbedingt erforderlich.

## **Biostoffverordnung – Schutzausrüstung**

Die Regeln der Biostoffverordnung bezüglich der Schutzausrüstung sind denen im Arbeitsschutz sehr ähnlich. Neben den Fakten, dass der Arbeitgeber die PSA zur Verfügung stellen muss und die Einrichtung für eine korrekte Lagerung vorhanden sein muss, sind eine regelmäßige Überprüfung, Reinigung und die Vernichtung schadhafter PSA sowie die Kontrolle der Wirksamkeit unabdingbare Bestandteile. Die Beurteilung der Funktion und damit die Selektion von Schutzbekleidung im Sinne der Biostoffverordnung ist sehr häufig die Achillesferse. Was muss beachtet werden, wie beurteilt man die Herstellerinformation im Sinne der Selektion für die jeweilige Expositionslage?

## Risikoanalyse und Schutzkleidung

Während der Risikoanalyse bekommt man einen Einblick in die Maße der jeweiligen Bio-Gefahrstoffe. Diese reichen von subviralen Partikeln über Größen im Nanometer-Bereich bis hin zu Parasiten im Mikrometer-Bereich oder größer. Geht man davon aus, dass sich viele dieser Partikel in der Luft befinden, muss man besonders die aerodynamischen Durchmesser betrachten.

Bei der Herstellung von Schutzanzügen werden sehr häufig Spinnvliese, mikroporöse Filme und beschichtete Spinnvliese verwendet. Während letztere partikeldicht sind und auch Flüssigkeitsdruck gut aushalten, sind Spinnvliese und mikroporöse Filme nur bis zu einem niedrigen Wasserdruck dicht und auch nicht 100 Prozent partikeldicht. Für Spinnvliese und mikroporöse Filme endet die Partikeldichtheit bei ca. 1  $\mu\text{m}$ . Das heißt für Partikel unter 1  $\mu\text{m}$  empfiehlt sich als Schutz ein beschichtetes Vlies oder ein Film-Laminat. Leider gibt es zurzeit keine wirklich gute Testmethode, deren Ergebnis ein Anwender benutzen könnte, um diese Eigenschaft präzise zu beurteilen. Wenn also die Partikeldichtheit eine wichtige und ernstzunehmende Frage ist, sollte die Wahl auf einen Schutzanzug fallen, der die Anforderungen gegen Flüssigkeitsdruck besteht – in der Terminologie der Chemikalienschutzkleidungen wäre das Typ 3. Bei flüssigen Aerosolen kann die Risikoanalyse auch einen Typ-4-Schutzanzug zur Folge haben, wobei jedoch die Begrenzung beim Expositionsdruck liegt. Dieser Expositionsdruck kann entscheidend ansteigen, wenn eine Person sich in Körper- oder infektiöse Flüssigkeiten reinknien muss. Auch ein Tragen einer kontaminierten Person oder von gekeulten Vögeln kann den Expositionsdruck soweit erhöhen, dass ein Typ-4-Schutzanzug durch einen Typ-3-Schutzanzug ersetzt werden muss.

### Forderungen für den Schutzanzug

Aus den genannten Erkenntnissen können die Anforderungen für Schutzanzüge gegen biologische Gefahrstoffe definiert werden:

#### Barriere-Elemente von Schutzkleidung

- kein Durchdringen von biologischen Gefahrstoffen

### Material, Nähte und Verbindungen

- staubdicht
- aerosoldicht
- flüssigkeitsdicht (auch unter Druck)

### Abschlüsse und Öffnungen

- abdichtbar
- Dichtigkeit mit anderer PSA
- durch Bewegung keine Undichtigkeiten

### Normen und Zertifizierungen

Die zurzeit festgelegte Norm zur Definition der biologischen Barriere von Schutzbekleidung – EN 14126 – ist in der nachstehenden Tabelle 8 zusammengefasst.

Typ	Dichtigkeit	Relevanter Standard	Materialtests
1a, 1b, 1c, 2 B	gasdicht	EN 943-1, EN 943-2	ISO/FDIS 16603
3 B	flüssigkeitsdicht	EN 466	ISO/FDIS 16604
4 B	sprühdicht	EN 465	ISO/FDIS 22610
4 B	staubdicht	prEN ISO 13982-1	ISO/FDIS 22611
6 B	begrenzt spritzdicht	prEN ISO 13034	ISO/FDIS 22612
	Teilkörper	EN 467	

Tab. 8: Norm zur Definition der biologischen Barriere von Schutzbekleidung  
(Quelle: EN 14126)

Bei der Interpretation dieser Tabelle fällt auf, dass der Schutz vor biologischen Agenzien über den Chemikalienschutz definiert ist. In der Praxis bedeutet dies, dass ein Schutzanzug, der diese Anforderungen erfüllen soll, erstmal alle An-

forderungen eines Typs im Chemikalienschutz erfüllen muss. Anschließend wird das Anzugmaterial den in der Tabelle 8 aufgeführten Tests unterzogen. Ein Penetrationstest als Vortest dient dazu, den maximalen Druck zu ermitteln, mit dem einige Tests durchgeführt werden sollen. Dieser Test wird mit künstlichem Blut gemacht, dessen rote Farbe unter anderem dazu dient, den Endpunkt – d. h. den Durchbruch – zu ermitteln.

Klasse	Druck
6	20 kPa
5	14 kPa
4	7 kPa
3	3,5 kPa
2	1,75 kPa
1	0 kPa

Tab. 9: Klassifizierung – Penetration künstliches Blut (Quelle: EN 14126)

In Tabelle 9 sind die Klassen mit den Druckwerten aufgezeigt. Der Wert 0 kPa bedeutet, dass wir hier den hydrostatischen Druck der Flüssigkeitssäule haben. Dieser Druck entspricht nur wenigen Zentimetern Wassersäule und ist als sehr niedrig anzusehen. Selbst die einfachsten Schutzmaterialien haben einen Widerstand gegen diesen Druck. Das führt dann bereits häufig zu der Bewertung, dass ein solcher Schutzanzug eine Biobarriere hat. Bei dem ähnlichen Test mit Viren anstatt mit Blut werden die Ergebnisse gleich klassifiziert. Nun sind Viren sehr klein und damit sind die Bewertungen der Ergebnisse für Schutzmaterialien nicht ganz so kritisch zu sehen.

Beim Widerstand gegen Bakterien nach Exposition des Schutzmaterials gegen einen Teflonfinger, der Bakterien durch Bewegung durch das Schutzmaterial reibt, sind die Ergebnisse noch kritischer zu sehen. Die Klasse 1 entspricht einer Expositionszeit von weniger als 15 Minuten (siehe Tab. 10). Nach dieser Definition gibt es im Test kein Material, das diese Forderung nicht schafft. Die Folge ist, ein Anwender interpretiert dies als „bestanden“ und misst dem Schutzanzug

zug eine Barriere gegen Bakterien zu. Eine solche Interpretation kann fatale Folgen haben.

Klasse	Durchbruchzeit
6	> 75 min
5	> 60 min
4	> 45 min
3	> 30 min
2	> 15 min
1	< 15 min

Tab. 10: Klassifikation – Widerstand gegen Bakterien (Quelle: EN 14126)

Bei den Bioaerosolen hat man es mit einer Besonderheit zu tun. Hier wird das Penetrationsverhältnis zwischen einem Testmaterial und einer Cellulose-Nitrat-Membran ermittelt. Laut Norm liegt die Porengröße einer solchen Membran bei ca. 0,45 µm. Das entspricht dem Level, bei der Spinnvliese ihre Barriere verlieren. Nun ist es erforderlich, dass ein Testmaterial mindestens zehnmal besser sein muss – das ist dann ein Log-Verhältnis von 1. Die Log-Verhältnisse und damit die Interpretation der Ergebnisse sind als wirklich schwierig zu bezeichnen. Viele Anwender scheitern hier einfach.

Klasse	Penetrationsverhältnis
3	> 5
2	> 2
1	> 1

Tab. 11: Klassifizierung – Widerstand gegen Bio-Aerosole (Quelle: EN 14126)

Schaut man auf den letzten verbleibenden Test, Barriere gegen kontaminierten Staub, scheint auf den ersten Blick die Logik hier in Ordnung zu sein. Ein meist vorher sterilisiertes Testmuster wird in einer Metallschale fixiert und mit kontaminiertem Talkum – *Bacillus subtilis* – beaufschlagt. Unter dieser Anordnung befindet sich eine Agarplatte. Während des Tests wird diese Anordnung geschüttelt. Durchdringende Partikel können dann mit Hilfe der Agarplatte ausgewertet werden. Als Kontrolle lässt man ein nicht kontaminiertes Testmuster mitlaufen. Die Ergebnisse werden in Penetration-Log-Einheiten dargestellt, sie sind ein Mittelwert aus 10 Ergebnissen.

Klasse	Penetration (log cfu)
3	$\leq 1$
2	$\leq 2$
1	$\leq 3$

Tab. 12: Klassifizierung – Widerstand gegen kontaminierten Staub (Quelle: EN 14126)

Staub ist bezüglich der Korngröße typischerweise nicht linear verteilt. Die Angaben in der Norm für die Korngröße korreliert leider nicht mit diesem Verständnis von Korngrößenverteilungen, es ist lediglich gefordert, dass 95 Prozent des verwendeten Talkums Korngrößen von kleiner als 15  $\mu\text{m}$  haben sollen. Wie die Verteilung dort aussieht, ist nach der Norm nicht wichtig.

Die meisten Spinnvliese haben jedoch gerade in diesem Bereich ihre Stärken und Schwächen, was das Rückhaltevermögen von Staubpartikeln betrifft. Jedes Spinnvlies hat entsprechend seiner Herstellung ein typisches Muster für die Rückhaltung von Partikeln in den jeweiligen Mikrometer-Bereichen. Da aber in dem Test die Partikelverteilung im verwendeten Talkum eher ein Zufall ist, kann ein Spinnvlies durch diese Testmethode bevor- oder benachteiligt werden. Da nützt auch der Mittelwert von zehn Messresultaten nicht viel, da die Statistik durch zwei Parameter beeinflusst wird, die Varianz des Spinnvlieses und die Varianz des Talkums bezüglich der Partikelgrößen.

Bei der Klassifizierung fällt nur auf, dass bei einem Mittelwert von 9,99 cfu (Colonie Forming Units) noch die höchste Klasse erreicht wird. Das lässt eher darauf schließen, dass die Methode selbst nicht viel besser ist.

### **Selektion von Schutzkleidung – besondere Risiken**

Wie soll ein Anwender seine Schutzkleidung gegen infektiöse Materialien aussuchen? Natürlich sollte er die oben beschriebenen Normen für den Chemikalienschutz und die Biobarriere beachten. Auch wenn die Biobarriere-Ergebnisse nicht besonders aussagekräftig sind. Im Unterschied zu Chemikalien sind infektiöse Materialien meist jedoch lebende Organismen, die sich vermehren können. Das gilt insbesondere dann, wenn die entsprechende Umgebung das unterstützt. Viele Schutzbekleidungsmaterialien benutzen zum Beispiel antistatische Ausrüstungen auf der Oberfläche. Solche Materialien sind häufig Nahrungsgrundlagen für Bakterien. So kann es also vorkommen, dass beim Ausziehen eines Anzugs die Oberfläche mehr Bakterienkeime hat als zum Zeitpunkt der Kontamination. Entsprechend ist dann die Vorgehensweise beim Auskleiden besonders zu beachten. Gleiches gilt für die Dekontamination der Schutzkleidung vor dem Auskleiden. Da muss natürlich die Chemikalienbarriere für dieses Dekontaminationsmittel vorhanden sein und überlegt werden, ob nicht z. B. der Reinigungsprozess durch Wischen das Dekontaminationsmittel inklusive des Bio-Agens durchbrechen kann.

Die Kombination des Schutzanzugs mit anderer PSA muss wie im Chemikalienschutz gewährleistet sein. Die Verbindungsstellen zu Masken oder Handschuhen dürfen je nach erwarteter Exposition keine Leckagen erlauben.

Einige Risiken wurden bislang für Schutzkleidung nur sehr unzureichend diskutiert und Lösungen sind daher nicht ganz klar. Dazu gehören der Toxindurchbruch, die Oberflächenhaftung von Keimen, die gezielte Information zu einzelnen Spezies (wie bei der Permeation) und der Einsatz von sterilisierter Kleidung.



## Zusammenfassung

Bei den vielen Möglichkeiten der Kontamination von Menschen durch infektiöse Partikel ist es sinnvoll, den Schutz korrekt und verständlich zu definieren, zu untersuchen und zu dokumentieren. Aus diesen Gründen wurde für die Biobarriere von Schutzanzügen die EN 14126 erstellt, auf Basis von bereits bestehenden ISO-Normen. Grundlage für diesen Schutz ist jedoch der Schutz gegen Chemikalien, was bedeutet, dass diese Schutzanzüge in erster Linie Chemikalienschutzanzüge sind, die entsprechend Typ-geprüft sind und somit bereits eine Dichtigkeitsstufe nachweisen können. Die EN 14126 testet dann nur noch die Bio-Barriere des verwendeten Materials. Eine interessante Besonderheit der EN 14126 ist, es offen zu lassen, welche der Methoden getestet wird. Es gibt nämlich keinen direkten Bezug zwischen dem Chemikalienschutztyp und der Biobarriere. Die Folgen sind ziemlich verwirrende Angaben von Herstellern zur Biobarriere ihrer Schutzanzüge. Das geht bis zum Fakt, dass Hersteller bereits eine Biobarriere beanspruchen, wenn nur der Vortest mit künstlichem Blut bestanden wurde. Beim Bakterientest kann man nicht durchfallen, eine Klasse 1 wird von allen Materialien erreicht.

Der Anwender ist durch diese Problematik nicht nur verwirrt, sondern wird meist auch fehlgeleitet, wenn er vor der Frage steht, welchen Schutzanzug er nun einsetzen soll. Aufgrund dieser Probleme sollten sich die Normierungskomitees möglichst schnell brauchbare Normen mit deutlich mehr Informationsgehalt schaffen.

Es ist zwar schon ein Fortschritt, dass es in Europa eine Norm für die Biobarriere von Schutzanzügen gibt, aber es gibt hier noch einen großen Nachbesserungsbedarf.



### **3.3 Wärmebelastung in Schutzbekleidung begrenzt die Tragezeit**

*Karl Jochen Glitz · Uwe Seibel · Dieter Leyk*

#### **Zusammenfassung**

Persönliche Schutzausrüstung und Schutzbekleidung gegen biologische Agenzien mit Gefährdungspotenzial führen durch ihr Gewicht und durch Bewegungseinschränkungen zur vermehrten Muskelarbeit und somit zur Steigerung der metabolischen Wärmeentwicklung. Zusätzlich wird auch die Wärmeabgabe erheblich behindert, sodass Leistungseinschränkungen und Hitzestress entstehen. Zur Prävention von Hitzeerkrankungen werden die Tragezeiten von bestimmten isolierenden Schutzbekleidungen durch einschlägige Regeln (BGR / GUV-R 190, BGR 189) auf 30 min begrenzt. Dieser Zeitraum ist als effektive Arbeitszeit häufig zu gering.

Gewisse Tragezeitverlängerungen sind durch verschiedene Maßnahmen vorstellbar: Ergonomische Bekleidungsgestaltung, Reduzierung der Arbeitsschwere, angepasstes Arbeitszeit-Pausen-Regime, angemessenes Verhalten, ausgeglichener Flüssigkeitshaushalt, Akklimatisierung in Schutzbekleidung und gute körperliche Leistungsfähigkeit.

Die Behinderung der Schweißverdunstung erweist sich bei Klimakammeruntersuchungen mit freiwilligen Probanden als bedeutendstes Entwärmungshemmnis. Die bekannten Körperkühlsysteme (Kühlwesten, Kühlmittel durchströmte Unterziehbekleidung, tragbare Belüftungseinrichtungen) unterstützen die Verdunstung jedoch nicht oder nicht ausreichend; dabei ist sie der effektivste physiologische Kühlmechanismus.

Bei stationären Routineabläufen können sog. „Nabelschnurssysteme“ für eine körperkühlende Frischluftversorgung sinnvoll sein; erfahrene Einsatzkräfte lehnen das Verfahren für mobile Tätigkeiten jedoch als unpraktikabel ab. Um diese Arbeiten lange in isolierender Schutzbekleidung durchführen zu können, muss eine effektive Kühlmethode entwickelt werden.

## Tragen von Schutzbekleidung

Im Labor besteht der Umgang mit biologischen Arbeitsstoffen zumeist aus planbaren Arbeitsabläufen. Entsprechend der Biostoffverordnung können nach einer Gefährdungsbeurteilung angemessene Schutzmaßnahmen ergriffen werden. Außerhalb des Laborbereichs stellt sich die Lage anders dar: Bei Schadensfällen treffen Einsatzkräfte häufig auf ein zunächst unbestimmtes Gefährdungspotenzial. Beispiele bilden Transportunfälle mit medizinischem Untersuchungsgut oder Anschlagdrohungen mit Infektionserregern (*Bacillus anthracis* o. ä.). In diesen Situationen legen die Helfer isolierende Schutzbekleidung zum Infektionsschutz an. Dabei handelt es sich nach einsatztaktischer Diktion um mittlere oder schwere Chemikalienschutzanzüge.

Diese Bekleidungen behindern jedoch den Bewegungsablauf und haben ein hohes Gewicht. Das führt bei ihren Trägern zur Einschränkung der Arbeitsfähigkeit und zur vermehrten Muskelarbeit mit erhöhter Wärmebildung. Gleichzeitig erschweren die Schutzbekleidungen die Entwärmung, sodass aus präventivmedizinischen Gründen Tragezeitbegrenzungen notwendig werden können:

Die einschlägigen Regeln (BGR / GUV-R 190 Benutzung von Atemschutzgeräten) sehen für isolierende Schutzbekleidung ohne Wärmeaustausch und mit zusätzlichem Atemschutz (Pressluftatmer oder Filtergeräte) maximale Einsatzzeiten von nur 30 Minuten vor. Die BGR 189 (Benutzung von Schutzkleidung) enthält denselben Grenzwert. Nach einer Überschlagsrechnung für schwere Chemikalienschutzanzüge reduziert sich die tatsächliche Arbeitsdauer jedoch auf lediglich 10 – 15 Minuten. Die übrige Zeit muss zum An- und Ablegen, An- und Abmarsch, Dekontamination des Schutzanzugs etc. aufgewandt werden (Töpfer, 1995). Diese Zeitspanne ist für effektive Arbeitsleistungen zu kurz.

### Tragezeitverlängerung durch unterstützende Maßnahmen zur Verringerung der Wärmebelastung

Die Tragezeit von schweren Chemikalienschutzanzügen ist durch das begrenzte Fassungsvermögen herkömmlicher Pressluftatmer nicht verlängerbar. Dagegen scheint es möglich, für Schutzbekleidung, bei der unbegrenzt Atemluft zugeführt werden kann, die Einsatzzeiten in gewissen Grenzen auszudehnen. Dazu bieten sich verschiedene Maßnahmen an:

### *Ergonomische Gestaltung von Schutzbekleidung*

Eine ergonomische Bekleidungsgestaltung verringert die durch die Anzüge bedingte zusätzliche Muskelarbeit und damit die Wärmebildung der Träger. Leider wird dieser Grundsatz nicht immer berücksichtigt. Die Eignung von Schutzbekleidung kann durch ein ergonomisches Anforderungsprofil geprüft werden, das am Beispiel von schweren Chemikalienschutzanzügen entwickelt wurde (Glitz et al., 2004). Es ist auf andere Schutzbekleidungen übertragbar und enthält vier Schwerpunkte:

- Die *Kompatibilität* eines Schutzanzugs mit der übrigen Bekleidung und der persönlichen Ausrüstung vermeidet Bewegungsbehinderungen (z. B. durch Einengen, Reiben oder Verhaken von Bekleidung und Schutzanzug) sowie Erschwernisse beim An- und Ablegen.
- Die *Passform* einer Schutzbekleidung ermöglicht die ökonomische Motorik des Trägers.
- Unter der *Handhabung* sind Behinderungen durch einen Schutzanzug und seine Bedienbarkeit erfasst. Hierzu gehören auch die Flexibilität und das Gewicht einer Schutzbekleidung.
- Die Prüfung des praktischen *Gebrauchs* auf der Arbeitsstrecke ist notwendig, da ein Schutzanzug durch das multifunktionale Zusammenwirken seiner Elemente Beeinträchtigungen der Arbeitsfähigkeit hervorrufen kann, die bei den vorhergehenden Einzelprüfungen unentdeckt bleiben.

### *Arbeitsschwere und Arbeitszeit-Pausen-Regime*

Bei zunehmender Arbeitsschwere steigt mit dem Energieumsatz die Wärmeentwicklung. Erfahrene Einsatzkräfte wissen ihre Arbeitsintensität so zu wählen, dass sie nicht frühzeitig dem Hitzestress ausgesetzt sind (sog. self pacing). Dementsprechend ist bei der Einsatzplanung ein Arbeitszeitzuschlag zu berücksichtigen. Dieser kann beträchtlich sein: In ABC-Schutzanzügen können Zeitzuschläge von 51 Prozent gegenüber Tätigkeiten ohne Schutzbekleidung notwendig werden (Eloff et al., 1999).

Zusätzlich muss ein geeignetes Arbeitszeit-Pausen-Regime ausgewählt werden: Aus thermophysiologischer Sicht sind kurze Arbeitsphasen und häufige längere Pausen wünschenswert. Die Pausenlänge kann die Arbeitszeiten unter bela-

stenden Bedingungen (Klima, Arbeitsschwere und -dauer etc.) um mehr als das dreifache übersteigen (ATP-65), da die Abkühlung eines erhitzten Organismus lange dauert (Willer et al., 2003; Pangert et al., 2003).

In den Pausen muss sich der erwärmte Organismus abkühlen können; dazu ist ein ausreichender Wärme- und Wasserdampfpartialdruckgradient vom Mikroklima zum Umgebungsklima notwendig. Unter heißen Klimabedingungen sollten Einsatzkräfte Schatten oder kühlere Bereiche aufsuchen und in sicherer Umgebung den (ggf. dekontaminierten) Anzug öffnen, da ansonsten die Körpertemperatur noch weiter ansteigt. Ebenso muss getrunken werden (s. u.).

Die beste Hyperthermieprophylaxe ist ein rechtzeitiger Arbeitsabbruch. Die Körperkerntemperatur ist hierfür der wichtige Indikator. In der DIN EN ISO 9886 sind als Abbruchgrenzen (in Abhängigkeit von bestimmten Randbedingungen) Körperkerntemperaturen von 38,0 bzw. 38,5 °C genannt. Dabei ist unberücksichtigt, dass körperlich leistungsfähigere Schutzbekleidungs-träger bei Erschöpfung höhere Kerntemperaturen als Untrainierte tolerieren (Selkirk & McLellan, 2001).

### *Flüssigkeitshaushalt*

Flüssigkeitsverluste durch Schwitzen können in einer Größenordnung von 1 l/h beim Tragen von Schutzbekleidung immer auftreten. Kurzzeitig ist sogar noch stärkeres Schwitzen möglich. Ein Verlust von ein bis drei Prozent des Körpergewichts führt schon zu Leistungseinbußen; lebensbedrohend sind mehr als zehn Prozent. Der Mensch verspürt Durst jedoch zu spät, sodass auch ohne Durstgefühl getrunken werden muss!

Ein Schutzbekleidungsträger sollte schon vor einem Einsatz genügend getrunken haben, um nicht mit einem Flüssigkeitsdefizit seine Tätigkeit zu beginnen. Während eines Einsatzes ist zu empfehlen, häufig kleinere Mengen bis zu einem Gesamtvolumen von 1 l/h aufzunehmen, um Schweißverluste unmittelbar auszugleichen. Voraussetzung ist allerdings eine kontaminationsfreie Zufuhr. Eine physiologische Obergrenze bilden etwa 1,5 l/h, da der menschliche Organismus aufgrund der begrenzten Resorptionsfähigkeit des Magen-Darm-Kanals nicht mehr Flüssigkeit aufnimmt. Gieriges Trinken großer Mengen kann sogar zu einem reaktiven Kreislaufzusammenbruch durch Vagus-

reizung des überfüllten Magen-Darm-Kanals (sog. „Oasentod“) führen (Piekar-ski, 1993).

### ***Körperliche Leistungsfähigkeit und Akklimatisierung***

Der komplexe Zusammenhang zwischen körperlicher Leistungsfähigkeit, Akklimatisierung und Hitzetoleranz von Schutzanzugträgern bedarf noch weiterer Aufklärung. Sicherlich ist eine gute körperliche Leistungsfähigkeit jedoch eine Voraussetzung, damit ein Träger nicht schon durch das Anzuggewicht und die Bewegungseinschränkungen frühzeitig ermüdet.

Über die Art der Akklimatisierung erlaubt der aktuelle Wissensstand noch kein abschließendes Urteil. Allerdings scheint die Anpassung, die im Mikroklima einer Schutzbekleidung erreicht wird, für einen Träger vorteilhafter als eine Umgebungsklimaexposition zu sein (McLellan, 1999). Demnach sollte zur Akklimatisierung im Schutzanzug trainiert werden!

### ***Verhaltensregeln***

Im Freien ist die direkte Sonneneinstrahlung bei warmen Umgebungsbedingungen zu vermeiden: Sind Arbeiten nicht in vorhandenen Schattenzonen durchzuführen, so sollte bei länger andauernden Tätigkeiten Schatten durch Sonnensegel, Planen o. ä. geschaffen werden.

### **Eingeschränkte Evaporation in isolierender Schutzbekleidung**

Die Evaporation ist der wichtigste Entwärmungsweg bei körperlicher Arbeit. Bis zu 75 Prozent der metabolischen Wärme kann über den Schweiß abgegeben werden. In Klimakammeruntersuchungen zeigt sich jedoch, dass isolierende Schutzbekleidung diesen Mechanismus so einschränkt, dass eine hohe Wärmebelastung von Anzugträgern entsteht.

### *Mittlerer Chemikalienschutzanzug*

In einem mittleren Chemikalienschutzanzug, der bei der Bundeswehr als ABC-Schutzbekleidung (Zodiak) eingeführt ist, unterzogen sich sieben freiwillige Männer einer medizinisch überwachten Laufbandergometerarbeit von 45 min Dauer (vorher 5 min Ruhe, nachher 10 min Erholung) mit einer Geschwindigkeit von 4 km/h (ohne Steigung) unter klimatisch belastenden Bedingungen (28 °C Lufttemperatur, 50 % relative Feuchte, 0,2 m/s Windgeschwindigkeit). In randomisierter Reihenfolge trugen sie über einem leichten Feldanzug den Schutzanzug und zum Vergleich nur den Feldanzug.

Im Feldanzug stieg die Rektaltemperatur auf  $37,3 \pm 0,3$  °C ( $M \pm SD$ ,  $n = 7$ ). Mit dem Schutzanzug erhöhte sie sich dagegen stetig, sodass in vier Fällen die Ergometerarbeit vorzeitig abgebrochen werden musste, um die Gesundheit nicht zu gefährden. Die durchschnittliche Arbeitsdauer betrug in der Schutzbekleidung  $42,6 \pm 2,1$  min. Trotz des vorzeitigen Arbeitsabbruchs wurde ein Rektaltemperaturmaximum von  $38,2 \pm 0,4$  °C aufgezeichnet.

Die Probanden verloren im Schutzanzug  $736 \pm 223$  g Schweiß ( $M \pm SD$ ,  $n = 7$ ); ohne Schutzbekleidung waren es nur  $293 \pm 55$  g (Abb. 10). Durch die massiv eingeschränkte Verdunstung konnte der größte Teil der Schweißproduktion im Schutzanzug jedoch thermophysiologisch nicht genutzt werden: Während mit dem Feldanzug 87 % des Schweißes verdunsteten, war die Verdunstungsrate im Schutzanzug mit lediglich 32 % so gering, dass  $504 \pm 16$  g Schweiß in der Bekleidung verblieb.



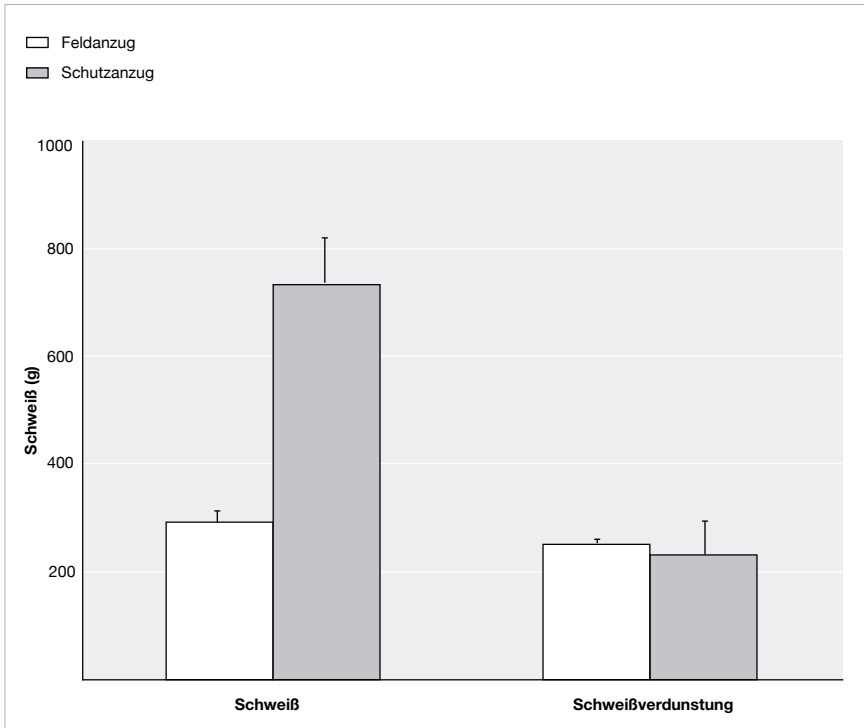


Abb. 10: Schwitzbilanz ( $M \pm SE$ ,  $n = 7$ ) im Feldanzug und im mittleren Chemikalienschutzanzug während des Klimakammeraufenthalts

### Schwerer Chemikalienschutzanzug

Auch in einem schweren Chemikalienschutzanzug (CSA), der mit einem Pressluftatmer und der Dienstbekleidung (inkl. Helm) angelegt wird, ist die Evaporation eingeschränkt:

In einer Klimakammeruntersuchung (18 °C; 50 % r. F.; 0,2 m/s Windgeschwindigkeit) trugen acht Männer insgesamt fünf handelsübliche CSA (und eine weitere belüftete Variante) auf dem Laufbandergometer (5 min Ruhe, 15 min mit 4 km/h und 3 % Steigung, 10 min Erholung). In nur

30 Minuten verloren sie  $312 \pm 184$  g ( $M \pm SD$ ,  $n = 8$ ) Schweiß. Die Verdunstungsrate von 51 % war wiederum so niedrig, dass der Schweiß nicht ausreichend zur Körperkühlung beitragen konnte und ein bedeutender Anteil ungenutzt im Chemikalienschutzanzug verblieb. Dagegen betrug bei der Kontrolle ohne Schutzanzug die Schweißmenge lediglich  $109 \pm 46$  g und verdunstete zu 83 %.

## **Körperkühlssysteme**

Eine deutliche Verlängerung der eingeschränkten Tragezeiten könnte durch wirkungsvolle Körperkühlssysteme erreicht werden. Im Folgenden wird eine kurze Übersicht über die unterschiedlichen Verfahren gegeben:

### *Ventilation durch tragbare Gebläse*

Bei der Ventilation mit Umgebungsluft leitet ein tragbares Gebläse gefilterte Luft in einen Schutzanzug. Ein derartiges System (Belüftung mit 80 l/min) wurde an dem beschriebenen mittleren Chemikalienschutzanzug Zodiac während einer Laufbandergometerarbeit in der Klimakammer bei 35 °C (20 – 40 % r. F. und Wärmestrahlung) erprobt (v. Restorff et al., 1996). Eine nennenswerte Entwärmung der Schutzanzugträger war nicht nachweisbar, da sich die Luftmenge zur Schweißverdunstung als viel zu niedrig erwies und sie im Anzug unzureichend verteilt wurde. Darüber hinaus hat das Verfahren den grundsätzlichen Nachteil, dass es bei hohen Umgebungstemperaturen und -luftfeuchten u. U. sogar zur zusätzlichen Wärmebelastung des Organismus durch die Aufnahme der Umgebungsluft kommt.

### *Ventilation durch stationäre Gebläse*

Ein Sonderfall ist die Belüftung von Schutzbekleidung über „Nabelschnurssysteme“: Von abgesetzten Aggregaten werden über eine Schlauchverbindung große Mengen gefilterte Umgebungsluft in einen Anzug gedrückt. Der Vorteil liegt in der „Entlastung“ eines Schutzanzugträgers, da er seine Mikroklimateuerung nicht mit einer erhöhten metabolischen Wärmeentwicklung aufgrund des Gerätegewichts „erkaufen“ muss. Der Nachteil ist der eingeschränkte

Aktionsbereich, so dass der Anwendungsbereich dieses Verfahrens begrenzt ist und lediglich für stationäre Routineabläufe praktikabel ist.

### *Kühlwesten und Kühlmittel durchströmte Unterziehbekleidung*

Eine weitere Gruppe bilden Kühlwesten und Kühlmittel durchströmte Unterziehbekleidung: Beide Methoden unterstützen jedoch nicht die Schweißverdunstung, sondern führen durch Konduktion Wärme ab.

Die Westen werden vor einem Einsatz gekühlt und unter der Schutzbekleidung getragen. Die Kühlmittel durchströmte Unterziehbekleidung ist technisch aufwendiger, da sie durch ein mitgeführtes Vorrats- und Pumpenaggregat mit einer konditionierten Flüssigkeit versorgt werden muss. Sie bietet jedoch in der Regel den Vorteil, dass ein Träger den Beginn und das Ende der Kühlung sowie deren Intensität (Durchfluss des Kühlmittels) regulieren kann.

### **Resümee**

Die Wirkung der bekannten Körperkühlsysteme hat sich als zu gering erwiesen (Glitz & v. Restorff, 1999), sodass eine niedrigere Wärmelast in isolierender Schutzbekleidung augenblicklich nur durch das Zusammenwirken aller beschriebenen Einzelmaßnahmen möglich erscheint.

Es besteht die dringende Notwendigkeit zur Entwicklung einer leistungsfähigen Körperkühleinrichtung, um längere Tragezeiten ohne gesundheitliche Gefährdungen zu erreichen. Aus physiologischer Sicht ist ein Verfahren sinnvoll, das die körpereigene Wärmeabgabe wirkungsvoll unterstützt. Als geeignete Methode bietet sich die Nutzung der Schweißverdunstung an, da diese der effektivste Entwärmungsmechanismus des arbeitenden Menschen ist. Die Physik erschwert allerdings die Realisierung, da 1 kg trockene Luft von 20 °C nur 14,9 g Wasser aufnehmen kann. Gibt ein Träger beispielsweise 500 g/h Schweiß ab, so sind immerhin 474 l/min Luft zur vollständigen Verdunstung notwendig!

## Literaturhinweise

ATP-65 (covered by STANAG 2499). *The Effects of Wearing NBC IPE on Individual and Unit Performance During Military Operations.*

BGR 189. *Benutzung von Schutzkleidung.* DGUV (Hrsg.).

BGR / GUV-R 190. *Benutzung von Atemschutzgeräten.* DGUV (Hrsg.).

DIN EN ISO 9886. *Ergonomie – Ermittlung der thermischen Beanspruchung durch physiologische Messungen.*

ELOFF, C. C., PAPANFUS, M., CLAASSEN, N. & HENDRIKSE, J. (1999). *Chemical protective ensemble decreases the functional performance and physiological tolerance of personnel conducting tasks in hazardous, hot and humid climates.* In: Centre d'études du Bouchet (ed.). *Thermal protection of man under hot and hazardous conditions.* 277-282.

GLITZ, K. J. & RESTORFF, W. v. (1999). *Reduction of heat stress in chemical protective suits.* In: Hodgdon, J. A., Heaney, J. H. & Buono, M. J. (eds.). *Environmental Ergonomics VIII. International Series on Environmental Ergonomics, 1, 191-194.*

GLITZ, K. J., SEIBEL, U., LEYK, D. & PIEKARSKI, C. (2004). *Ergonomisches Anforderungsprofil für Schutzkleidung am Beispiel „Schwerer Chemikalienschutzanzug“.* In: Baumgartner, E. & Storck, J. (Hrsg.). *44. Jahrestagung der DGAUM und der ÖGA, 353-355.*

MCLELLAN, T. M. (1999). *The influence of physiological manipulations on tolerance to uncompensable heat stress.* In: Centre d'études du Bouchet (ed.). *Thermal protection of man under hot and hazardous conditions.* 79-84.

PANGERT, R., BUX, K. & FRENER, P. (2003). *Hitzearbeit – Hitzepausen.* *Ergo-Med, 27, 82-89.*

PIEKARSKI, C. (1993). *Klima. Überwärmung.* *Handbuch der Ergonomie, hrsg. v. BWB, Kapt. 9.6.3, Bd. 2.*

RESTORFF, W. v., DYBALLA, S. & GLITZ, K. J. (1996). *Use of filtered ambient air to reduce heat stress in NBC protection clothing*. In: Shapiro, Y., Moran, D. S. & Epstein, Y. (eds.). *Environmental Ergonomics. Recent Progress and New Frontiers*. 339-342.

SELKIRK, G. A. & McLELLAN, T. M. (2001). *Influence of aerobic fitness and body fatness on tolerance to uncompensable heat stress*. *J.Appl.Physiol.*, 91(5), 2055-2063.

TÖPFER, H.-J (1995). *Aktuelle Aspekte der Dekontamination beim Feuerwehreinsatz. brandschutz/Deutsche Feuerwehr-Zeitung*, 760-762.

WILLER, E., HEDTMANN, J. & FELTEN, C. (2003). *Übereinstimmung zur psychophysiologischen Beanspruchung bei Arbeiten im nicht klimatisierten Chemikalienschutzanzug unter realen Umgebungsbedingungen*. *Ergo-Med*, 27, 68-81.

Arbeitswissenschaftliche Hinweise der Autoren zum Stichwort „Schutzbekleidung“ sind inzwischen veröffentlicht in: Landau, K. (Hrsg.) (2007). *Lexikon Arbeitsgestaltung. Best Practise im Arbeitsprozess*. Gentner Verlag, Stuttgart.



### **3.4 Persönliche Schutzausrüstung zur Behandlung von Patienten mit hochkontagiösen Erkrankungen**

*Wolfgang Guggemos*

#### **Zusammenfassung**

Voraussetzung für die Beschaffenheit der PSA ist es, sowohl eine optimale intensivmedizinische Patientenversorgung zu ermöglichen, als auch den maximalen Schutz des Personals zu gewährleisten. Definierte Standards existieren derzeit nicht.

Die von den meisten Behandlungszentren der Ständigen Arbeitsgemeinschaft für hochkontagiöse Erkrankungen (StAKoB) derzeit angewandte PSA besteht aus einem Einmal-Schutzoverall, geeignetem Schuhwerk, einer wieder verwendbaren Schutzhaube sowie aus zwei Lagen Untersuchungshandschuhen. Die einzelnen Komponenten werden dicht miteinander verbunden bzw. verklebt. Zur Vermeidung häufiger Handschuhwechsel sollte die zweite Lage aus desinfizierbarem Material gefertigt sein.

Das eingesetzte Material muss virendicht, reiß- und stoßfest sowie zu Zwecken der sicheren Dekontamination undurchlässig für Formalin- bzw. Peressigsäurelösungen sein. Aufgrund des hohen täglichen Materialbedarfs wird aus Kostengründen diesem mehrteiligen System der Vorzug gegenüber einem alternativen einteiligen Komplettanzug gegeben.

Ergänzt wird diese Kombination durch einen akkumulatorbetriebenen und mit Filtern bestückten Respirator, über den gefilterte Umgebungsluft mit einem Flow von mindestens 120 l/min in die Schutzhaube abgegeben wird. In Abhängigkeit vom angewandten Dekontaminationsverfahren müssen die Filter neben Partikeln auch die zur Dekontamination eingesetzte Formalin- bzw. Peressigsäurelösung suffizient absorbieren. Zur Anwendung kommen Filter der Klasse A2B2P3. Idealerweise sollte zudem ein abhörsicheres und auf digitaler Technik basierendes Kommunikationssystem eingesetzt werden.

Das Auftreten von importierten hochkontagiösen und lebensbedrohlichen Infektionen – hierzu gehören im Wesentlichen Erkrankungen durch die in Stufe 4 der Biostoffverordnung klassifizierten Viren – stellt ein sehr seltenes Ereignis dar. In den vergangenen Jahren war in Deutschland pro Jahr im Mittel ein Fall zu verzeichnen, die Anzahl der im Verlauf nicht bestätigten Verdachtsfälle lag um ein Vielfaches höher.

Mit voranschreitender Globalisierung, wiederkehrenden Krankheitsausbrüchen (z. B. Marburg-Epidemie 2005 in Angola, Ebola-Epidemie 2003 in der Demokratischen Republik Kongo), möglicher Neumanifestation bislang unbekannter Erkrankungen und nicht zuletzt auch durch die Auslandseinsätze der Bundeswehr wird die Wahrscheinlichkeit des Imports einer hochkontagiösen und lebensbedrohlichen Erkrankung in Zukunft eher ansteigen.

In der Bundesrepublik existiert eine Reihe von Behandlungszentren, deren Aufgabe es ist, Patienten mit diesen Erkrankungen in speziell dafür vorbereiteten Sonderisolierstationen unter den Kriterien des „Barrier Nursing“ zu behandeln.

Die Erfüllung der Versorgungsaufgabe erfordert von den Behandlungszentren bereits in der Vorhaltung einen immensen technischen, logistischen, personellen und finanziellen Aufwand, der im Falle einer Patientenbehandlung um ein Vielfaches ansteigt. Die Behandlung dieser Patienten ist extrem personalintensiv (20–30 Mitarbeiter / 24 Stunden), die Behandlungsdauer umfasst unter Umständen mehrere Wochen. Dies erfordert die Bevorratung einer großen Anzahl an Schutzausrüstungen, was bei immer knapper werdenden Krankenhausbudgets eine nicht zu unterschätzende Belastung für die Kliniken darstellt. Nicht zuletzt auch aus diesem Grund haben sich die Behandlungszentren zur „Ständigen Arbeitsgemeinschaft der Kompetenz- und Behandlungszentren für hochkontagiose Erkrankungen“ (StAKoB) zusammengeschlossen, um künftig Standards zu etablieren und sich personell und logistisch in den Aufgaben zu unterstützen.





Abb. 11: Beispiel einer PSA

### EU-Richtlinie 89/686/EWG

Hinweise über die Voraussetzungen, die eine PSA zu erfüllen hat, gibt die EU-Richtlinie 89/686/EWG. Hier finden sich Vorgaben über grundlegende Sicherheitsanforderungen an eine PSA, um die Gesundheit der Benutzer zu schützen und deren Sicherheit zu gewährleisten. Gemäß der Richtlinie gilt als PSA jede Vorrichtung oder jedes Mittel, das dazu bestimmt ist, von einer Person getragen oder gehalten zu werden und einen angemessenen Schutz gegen die auftretenden Risiken bietet. Persönliche Schutzausrüstungen dürfen im Europäischen Wirtschaftsraum (EWR) nur in Verkehr gebracht werden, wenn diese den Anforderungen der PSA-Richtlinie entsprechen.

Arbeitgeber sind verpflichtet, Vorkehrungen vor einer Gesundheitsgefährdung von Mitarbeitern zu treffen und eine dem Gefährdungspotenzial entsprechende persönliche Schutzausrüstung (PSA) zur Verfügung zu stellen. In der Auswahl der Bestandteile einer PSA gilt es, einen Kompromiss zu finden zwischen maximalem Schutz und einer möglichst optimalen Patientenbetreuung. Das Angebot an unterschiedlichsten Materialien und Designs ist

groß, Richtlinien unübersichtlich und einheitliche sowie fest definierte PSA-Standards noch nicht existent. Die Erfahrung zeigt, dass die theoretisch beste Schutzausrüstung nicht notwendigerweise auch die am besten geeignete Form darstellt.

Vor der Auswahl einer PSA sollte eine ausführliche Analyse von Arbeitsplatz, Art und Konzentration der Schadstoffe, Umgebungsluft, Temperatur, Verwendungszweck, Arbeitsdauer und Schwere der Arbeit, Rückzugszeit, Rettung, Flucht und Brandgefahren erfolgen. Anhand dieser Analyse ist dann die Auswahl der geeigneten Schutzform zu treffen.

Grundsätzlich werden PSA in drei Kategorien unterteilt:

### **Kategorie I (geringe Risiken)**

In diese Kategorie werden PSA eingeordnet, von denen man davon ausgeht, dass der Benutzer selbst die Wirksamkeit gegenüber geringfügigen Risiken beurteilen kann und deren Wirkung, wenn sie allmählich eintritt, vom Benutzer rechtzeitig und ohne Gefahr wahrgenommen werden kann (z.B. Handschuhe für Gartenarbeiten, leichtes Schuhwerk).

### **Kategorie II (mittlere Risiken)**

Zu dieser Kategorie gehören alle persönlichen Schutzausrüstungen, die weder der Kategorie I noch der Kategorie III zuzuordnen sind (z.B. Arbeitsschutzhelme, Schutzschuhe, Gehörschützer). Anforderungen: EG-Baumusterprüfung, EG-Baumusterprüfbescheinigung

### **Kategorie III (hohe Risiken)**

In die Kategorie III fallen komplexe persönliche Schutzausrüstungen, die gegen tödliche Gefahren oder ernste und irreversible Gesundheitsschäden schützen sollen, und bei denen man davon ausgehen muss, dass der Benutzer die unmittelbare Wirkung der Gefahr nicht rechtzeitig erkennen kann. Bei den komplexen persönlichen Schutzausrüstungen der Kategorie III ist eine Baumusterprüfung vorgeschrieben, die laufende Produktion muss durch stichprobenartige Qualitätskontrollen überwacht werden. Die PSA muss mit einem CE-Kennzeichen versehen sein. Zur Behandlung von Patienten mit hochkontagiösen lebens-

bedrohlichen Erkrankungen auf dem Boden der in Stufe 4 der Biostoffverordnung klassifizierten Viren ist deshalb eine PSA der Kategorie III anzulegen.

Grundsätzlich ist in der Auswahl der PSA die oben beschriebene EU-Richtlinie 89/686/EWG zu beachten. In dieser wird in allgemeiner Form vorgeschrieben, wie eine PSA unter den gegebenen Risiken ausgestattet sein muss: Die PSA muss so konzipiert sein, dass die mit Risiken verbundene Tätigkeit bei einem möglichst hohen und den Risiken entsprechenden Schutz in normaler Form ausgeübt werden kann und unter den vorhersehbaren Einsatzbedingungen keine Gefahren und Störungen durch die PSA verursacht werden. Eine schädliche Auswirkung auf die Gesundheit des Benutzers muss ausgeschlossen sein.

Teile der PSA, die mit dem Benutzer während der Tragedauer in Berührung kommen, dürfen keine Unebenheiten, scharfe Kanten, vorspringende Spitzen usw. aufweisen und erforderliche Bewegungen und Körperhaltungen sowie Sinneswahrnehmungen dürfen nur so wenig wie möglich behindert werden. Die PSA muss so konzipiert sein, dass diese so einfach wie möglich angelegt werden kann und während der Tragedauer in ihrer Position verbleibt.

Durch Vorhaltung einer ausreichenden Auswahl an Größen und Maßen muss die PSA so gut wie möglich an die Gestalt des Benutzers angepasst werden können. Sie muss so leicht wie möglich sein, jedoch eine ausreichende Festigkeit gegen die unter den voraussehbaren Einsatzbedingungen üblichen Fremdeinwirkungen aufweisen. Verschiedene Komponenten einer PSA müssen untereinander kompatibel sein.

PSAs, die Körperteile „umhüllen“, müssen soweit wie möglich ausreichend belüftet sein, um die Transpiration während des Tragens zu begrenzen, andernfalls müssen sie soweit wie möglich mit Vorrichtungen versehen sein, die den Schweiß absorbieren. PSAs für Gesicht, Augen und Atemwege dürfen das Gesichtsfeld und die Sicht des Benutzers so wenig wie möglich einschränken. Der Augenschutz muss einen Grad an optischer Neutralität aufweisen, der mit der Art der Arbeiten vereinbar ist. Gegebenenfalls ist eine Behandlung der PSA vorzunehmen bzw. sind Vorrichtungen zur Belüftung anzubringen, um die Bildung von Beschlag zu vermeiden. PSA-Modelle für Benutzer mit Sehhilfen müssen für das gleichzeitige Tragen von Brillen oder Kontaktlinsen ausgelegt sein. Mit der PSA muss eine Informationsbroschüre ausgehändigt werden, in der neben Namen und Anschrift des Her-

stellers alle zweckdienlichen Angaben zu Lagerung, Gebrauch, Reinigung, Wartung, Überprüfung und Desinfizierung aufgeführt sind.

Für die Umsetzung der EU-Richtlinie in die Praxis bedeutet dies, dass eine PSA neben dem maximalen individuellen Schutz mit möglichst geringer individueller Beeinträchtigung die Erfordernisse einer optimalen Versorgung von intensivpflichtigen Patienten gewähren muss. Alle auf einer Intensivstation üblicherweise ausgeführten und z. T. auch filigranen Tätigkeiten wie z. B. das Legen zentraler Verweilkatheter oder die endotracheale Intubation, die Bedienung von Laborgeräten, die Mikroskopie etc., müssen in der PSA ohne Selbst- oder Patientengefährdung möglich sein. Aufgrund des insgesamt sehr seltenen Ereignisses und daraus resultierender reduzierter Routine des Personals sollte die PSA einfach zu handhaben sein. Insbesondere das An- und Ablegen der PSA sollte so einfach wie möglich vollzogen werden können. Da die Einsatzszenarien oftmals die Patientenübernahme bereits außerhalb der Sonderisolierstationen vorsehen (z. B. Flughafen, periphere Kliniken etc.) ist bei der Auswahl der PSA streng darauf zu achten, dass diese sowohl für den stationären Bereich als auch für den im mobilen Einsatz tauglich ist.

Alle Bestandteile der PSA müssen einfach und optimal dekontaminierbar sein, um nach Beendigung der Tätigkeit ein einfaches und gefahrloses Ablegen zu gewährleisten. Deshalb müssen für das verwendete Material zusätzliche Anforderungen in Bezug auf die verwendeten Dekontaminationsverfahren (in der Regel Verwendung von formaldehydhaltigen Desinfektionslösungen bzw. Peressigsäure) erfüllt werden. Da ein Wechsel der PSA während des Arbeitens nicht möglich ist und Ausschleusvorgänge inklusive Dekontamination meist längere Zeitintervalle in Anspruch nehmen, müssen alle eingesetzten Materialien hohe Sicherheitsreserven aufweisen. Laufzeiten von Akkumulatoren in elektrisch betriebenen PSA-Komponenten wie z. B. gebläsegestützten Atemsystemen oder Kommunikationseinrichtungen müssen wesentlich höher konzipiert sein, als dies die im Regelfall angesetzte Arbeitszeit erfordert. Idealerweise werden bei essenziellen PSA-Bestandteilen zusätzlich einfach zu installierende Reserveakkumulatoren vorgehalten. Ebenso ist bei den eingesetzten Filtersystemen eine Abscheideleistung erforderlich, die deutlich über dem erforderlichen Maß liegt.



Abb. 12: Arbeiten unter intensivmedizinischen Bedingungen



Abb. 13: Endotracheale Intubation in PSA

## Komponenten der PSA

### *Schutzanzug*

Der EU-Richtlinie 89/686/EWG für PSA entsprechend kommen in der Versorgung von hochkontagiösen Patienten mit auf der Stufe 4 der Biostoffverordnung basierenden Erkrankungen grundsätzlich Schutzanzüge zum Einsatz, die der Kategorie III entsprechen. Bei Schutzanzügen mit begrenzter Lebensdauer der Kategorie III wird eine weitere Unterteilung in 6 Typen vorgenommen:

- Typ 1: gasdicht
- Typ 2: nicht gasdicht
- Typ 3: flüssigkeitsdicht

- Typ 4: sprühdicht
- Typ 5: begrenzt sprühdicht
- Typ 6: partikeldicht

Den Risiken der ausgeübten Tätigkeit sowie den Erfordernissen einer abschließenden Dekontamination entsprechend sollten deshalb Schutzanzüge der Kategorie III und mindestens des Typs 3 zum Einsatz kommen. Hinsichtlich der Dichtigkeit gegenüber Flüssigkeiten ist zu beachten, dass der Schutzanzug auch über eine wirksame Barriere gegen die bei der Dekontamination angewandten Desinfektionslösungen verfügt.

Das Angebot an Schutzanzügen ist groß. Neben Unterschieden in Bezug auf das verarbeitete Material hat der Benutzer eine große Auswahl an Designs. Im Wesentlichen unterscheiden sich die unterschiedlichen Exemplare durch die Abwesenheit bzw. das Vorhandensein von integrierten Handschuhen und Füßlingen. In der Regel werden die Schutzanzüge in Kombination mit wieder verwendbaren TH3-Hauben und gebläsegestützten Filtersystemen kombiniert. Zudem wird derzeit ein Anzugmodell mit bereits integrierter Schutzhaube, Anschlüssen für die Gebläse sowie integrierten Handschuhen angeboten. Dieses an sich hervorragende Modell findet in den Behandlungszentren aus finanziellen Gründen bislang keine Anwendung, da der Kostenfaktor im Vergleich zu der Kombination aus Schutzanzug und wieder verwendbaren TH3-Schutzhauben ca. um den Faktor 10 höher liegt. Für den außerklinischen Einsatz ist dieses Modell jedoch hervorragend geeignet.

Die Arbeit unter einem Schutzanzug stellt eine nicht zu vernachlässigende hohe physische Belastung für das eingesetzte Personal dar, der Tragekomfort der PSA sollte deshalb möglichst hoch sein. Nicht alle Schutzanzüge der erforderlichen Kategorie bzw. des erforderlichen Typs sind jedoch in der Anwendung zur Patientenversorgung geeignet. Teilweise ist das verwendete Material relativ steif, so dass die Beweglichkeit z.T. deutlich eingeschränkt wird. Weitere Beeinträchtigungen im Tragekomfort können sich z. B. aufgrund einer durch das Material hervorgerufenen hohen Geräuschkulisse ergeben. Die Forderung nach einer möglichst geringen Einschränkung der Transpiration ist bis dato leider nur unzureichend gelöst, da nach eigenen Erfahrungen bislang keine Materialien verfügbar sind, die eine suffiziente Durchlässigkeit für Körperschweiß sowie gleichzeitig eine sichere Barriere gegenüber den zur Dekontamination

eingesetzten Chemikalien gewährleisten. Dieser Einschränkung muss durch eine restriktive Begrenzung der zulässigen Arbeitszeit und häufigen Schichtwechseln Rechnung getragen werden.

Weitere wesentliche Voraussetzung hinsichtlich eines tolerablen Tragekomforts ist die Anpassung des Schutzanzugs an die äußere Gestalt des Anwenders. Schutzanzüge, die zu klein sind, bewirken eine nicht zu tolerierende Einschränkung der Beweglichkeit und bergen bei bestimmten Bewegungen unter Umständen die Gefahr des Aufplatzens von Nähten. Andererseits führen zu große Schutzanzüge zu einer Faltenbildung, wodurch Teile des Anzugs bei der Dekontamination nur schwer erreichbar sind. Aus vorgenannten Gründen müssen Schutzanzüge deshalb in mehreren Konfektionsgrößen vorgehalten werden.

Gemäß der oben beschriebenen EU-Richtlinie ist bei den Schutzanzügen eine Kennzeichnung mittels genormter Piktogramme mit Informationen zu Größe, Einsatzbeschränkungen, Pflegehinweisen, Schutzkategorie und Schutztyp, individueller Beständigkeit gegen z. B. Partikel, Chemikalien oder biologischen Agenzien sowie der Angabe der Artikelbezeichnung und der CE-Prüfnummer zwingend erforderlich. Eine mehrsprachige Gebrauchsanweisung ist obligat. Zudem sollte stets eine entsprechende Bestätigung der Klasse und des Typs beim Hersteller angefordert werden. Die Hersteller müssen folgende Pflichtangaben nachweisen können: Informationen über Schutzanforderungen, Schutzklassen und -stufen, Bewertung einer akkreditierten Prüfstelle sowie eine Konformitätsbewertung (CE-Zertifikat, EN-Zertifikat, DIN-EN-Zertifikat) liefern. Zudem sollten Angaben über das Material, Penetrationsschutz und Reißfestigkeit eingeholt werden.

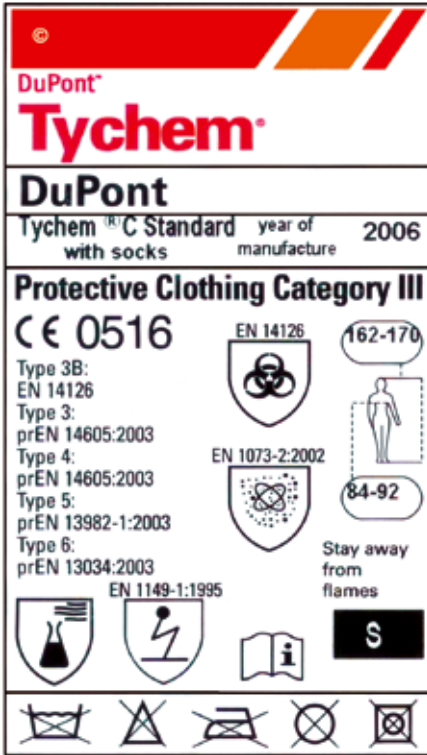


Abb. 14: Genormtes Piktogramm

### Schutzhandschuhe

Schutzhandschuhe sollen vor der Einwirkung durch Krankheitserreger, vor mechanischen Einflüssen und vor der Einwirkung von Chemikalien schützen. In Bezug auf eine Versorgung von Patienten ist bei hoher Reißfestigkeit ein möglichst dünnes Material zu fordern. Die an einigen Anzugmodellen bereits fest integrierten Schutzhandschuhe zeichnen sich durch eine dicke Materialbeschaffenheit aus und sind für filigrane Arbeiten im Klinikbereich deshalb ungeeignet. Deshalb wird zu Zwecken der Patientenversorgung auf übliche Klinikhandschuhe mit extra langen Stulpen zurückgegriffen, die mittels flüssigkeitsdichtem und chemikalienbeständigem Klebeband fest mit dem Schutzanzug verbunden werden. Darüber wird ein zweites Paar Schutzhandschuhe



angelegt. Mit diesem Verfahren wird ein erforderlicher Handschuhwechsel gefahrlos ermöglicht. Als bevorzugtes Material wird Nitril verwendet. Um häufige Handschuhwechsel zu vermeiden, sollten die äußeren Schutzhandschuhe mit Hilfe von herkömmlichen Desinfektionsmitteln dekontaminierbar sein.



Abb. 15: Schutzhandschuhe

### ***Atemschutz***

Auch beim Einsatz von Atemschutz gilt: Soviel Schutz wie nötig – so wenig Belastung wie möglich. Bei den eingesetzten Atemschutzgeräten handelt es sich ebenfalls um komplexe PSAs, die vor tödlichen Gefahren oder ernsten und irreversiblen Gesundheitsschäden schützen sollen. Der Einsatz von Atemschutzvorrichtungen dient dem Schutz vor Inhalation von Viren oder virus-haltigen Aerosolen sowie dem Schutz vor Inhalation von Gasen und Dämpfen hinsichtlich der angewandten Dekontaminationsverfahren. Grundsätzlich werden umluftabhängige Verfahren (FFP-Masken, Vollmasken mit Filter, gebläseunterstützte Systeme) von umluftunabhängigen Anwendungen (Pressluftatmer) unterschieden.

Vermutlich wäre ein individueller Schutz mit filtrierenden Halbmasken vom Typ FFP3 zur Patientenversorgung ausreichend, suffiziente Dekontaminationsmaßnahmen mittels Formaldehyd- oder Peressigsäurelösungen wären mit diesem Schutzverfahren jedoch nicht möglich. Deshalb wird gebläsegestützten Atemschutzgeräten in Kombination mit Schutzhauben der Vorzug gegeben. Neben der Möglichkeit der suffizienten Dekontamination ist dieses Verfahren im Vergleich zu FFP3-Masken unabhängig von einer exakten Passgenauigkeit. Weiterer nicht zu unterschätzender Vorteil ist die wesentlich

geringere Atemarbeit. Das Schutzziel des Entfernens der Schadstoffe wird mittels auf der Gebläseeinheit fest angebrachter Partikel- oder Kombinationsfilter erreicht. Die gefilterte Umgebungsluft wird dann mittels einer Schlauchverbindung in eine TH<sub>3</sub>-Schutzhaube abgegeben, wo sie durch Überdruckventile wieder in die Umgebung entweicht. Diese offenen Atemanschlüsse bieten jedoch bei Ausfall oder Schwächerwerden des Gebläses keinen ausreichenden Schutz. Deshalb müssen die Geräte bei Einsatz mit gesundheitsgefährdenden Mikroorganismen mit einer Warnvorrichtung im Falle einer Unterschreitung einer Schwelle des Ladezustandes der Batterie bzw. bei Erhöhung des Filterwiderstands ausgerüstet sein. Geräte ohne entsprechende Warneinrichtung und Geräte der Klasse TH<sub>1P</sub> dürfen nicht gegen krebserregende, sehr giftige oder radioaktive Stoffe sowie luftgetragene biologische Arbeitsstoffe der Risikogruppen 2 und 3 und Enzyme eingesetzt werden. Der Einsatz in Kombination mit so genannten TH<sub>3</sub>-Hauben ist somit zwingend erforderlich. Die Materialien müssen gesundheitlich unbedenklich, frei von Blickfeldeinschränkungen und störenden Eigengerüchen, leicht, kompakt, stabil und einfach zu bedienen sein, ferner müssen sie beständig gegen Einflüsse von Transport, Chemikalien und Flüssigkeiten sein, eine minimale Laufzeit von fünf Stunden bei voll aufgeladener Batterie und neuen Filtern sollte gegeben sein.

Das reibungslose Zusammenwirken mit den anderen PSA-Bestandteilen muss gewährleistet sein, arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen sind obligat. Da die verfügbaren Systeme empfindlich gegen ein so genanntes Überatmen sind, muss der minimale Luftvolumenstrom 120 l/min betragen, Grundvoraussetzung für den Einsatz dieser Geräte ist eine Sauerstoffkonzentration der Umgebungsluft von mindestens 17 Prozent. Die Zertifizierung der Geräte ist Voraussetzung (CE-Kennzeichen und vierstellige Prüfziffer). Ergebnisse einer ausführlichen Analyse von Arbeitsplatz, Art und Konzentration der Schadstoffe, Umgebungsatmosphäre, Temperatur, Verwendungszweck, Arbeitsdauer und Schwere der Arbeit, Rückzugszeit, Rettung, Flucht und Brandgefahrerefolgen sollten in die Auswahl der Geräte einfließen.



Abb. 16: Gebläsegestützter Atemschutz

### *Schutzarten durch Gehäuse IP Norm, DIN EN 60529*

Je nach Art der vorgesehenen Anwendung haben die Gehäuse der Gebläseinheiten entsprechende Voraussetzungen zu erfüllen (Tab. 13). Mindestanforderung in der Versorgung von Patienten mit zugrundeliegenden Infektionen auf der Basis der Stufe IV der Biostoffverordnung ist der Schutz der Gehäuse gegen Staub sowie im Falle einer Flüssigkeitsdekontamination der Schutz gegen Strahlwasser. Hieraus ergibt sich eine zu fordernde IP Norm von 55 oder höherwertiger.

1. Kenn-ziffer	Berührungs- und Fremdkörperschutz	2. Kenn-ziffer	Wasserschutz
0	Nicht geschützt	0	Kein Schutz
1	Geschützt gegen feste Fremdkörper 50 mm Durchmesser und größer	1	Geschützt gegen Tropfwasser: senkrecht fallende Tropfen
2	Geschützt gegen feste Fremdkörper 12,5 mm Durchmesser und größer	2	Geschützt gegen Tropfwasser, wenn das Gebläse bis zu 15° geneigt ist
3	Geschützt gegen feste Fremdkörper 2,5 mm Durchmesser	3	Geschützt gegen Sprühwasser: Sprühwasser in einem Winkel bis zu 60°
4	Geschützt gegen feste Fremdkörper 1 mm und größer	4	Geschützt gegen Spritzwasser
5	Staubgeschützt: Staub darf nicht in einer solchen Menge eindringen, dass das Arbeiten des Gerätes oder die Sicherheit beeinträchtigt wird	5	Geschützt gegen Strahlwasser
6	Staubdicht: kein Eindringen von Staub bei einem Unterdruck von 20 mbar im Gehäuse	6	Geschützt gegen starkes Strahlwasser
		7	Geschützt gegen die Wirkungen beim zeitweiligen Untertauchen in Wasser
		8	Geschützt gegen die Wirkungen beim dauernden Untertauchen in Wasser

Tab. 13: IP-Norm von Gehäusen

## *Filter*

Zur Erreichung des Schutzziels werden die Gebläseeinheiten mit Partikelfiltern bestückt, die nach DIN EN 143 durch „P“ (Partikelfilter) gekennzeichnet sind. Da der Einsatz von Filtern der Klassen P1 und P2 gegen krebserregende und luftgetragene biologische Arbeitsstoffe nicht zulässig ist, muss das Abscheidungsvermögen der eingesetzten Filter der Klasse P3 entsprechen. Um eine sichere Dekontamination zu gewährleisten, müssen die eingesetzten Filter hinsichtlich der angewandten Dekontaminationsverfahren zudem Gase und Dämpfe suffizient abscheiden (Filterklassen A und B). Aus diesem Grunde kommen in den Gebläseeinheiten in der Regel Kombinationsfilter der Klasse A2B2P3 zum Einsatz. Nach Beendigung der Arbeitsschicht muss der Filter sicher entsorgt werden, eine Mehrfachanwendung von Partikelfiltern gegen luftgetragene biologische Arbeitsstoffe ist nicht zulässig.

## *Kommunikation*

Aufgrund der akustischen Abschirmung unter der PSA ist das Vorhandensein einer störungsfrei funktionierenden Kommunikationseinrichtung eine weitere wesentliche Voraussetzung für das sichere Arbeiten. Gerade im Hinblick auf die Behandlung von schwerst erkrankten Patienten unter intensivmedizinischen Bedingungen ist die sichere Kommunikation des Behandlungsteams eine unerlässliche Voraussetzung für eine optimale Patientenbetreuung. Die Kommunikation sollte nicht nur innerhalb des Behandlungsteams gewährleistet sein, auch die Kontaktaufnahme mit dem Patienten muss gewährleistet sein. Da die Geräte in der Regel unter dem Schutzanzug getragen werden, ist eine einfache Bedienbarkeit ohne Knöpfe und Regler wünschenswert. Ein sicherer Sitz der so genannten Headsets ist unabdingbar, da eine nachträgliche Korrektur während des Arbeitens unter PSA nicht mehr möglich ist. Die der Kommunikation dienende Technik sollte digital und abhörsicher sein.

## *Unterweisung*

Die bezüglich der Materialeigenschaften beste Schutzausrüstung bringt keinen Nutzen, wenn der Umgang mit der PSA nicht regelmäßig geübt und die Mitarbeiter nicht unterwiesen werden. Die Schulungsinhalte sollten die The-

men Zweck einer PSA, Betriebsanleitung, Zusammensetzung und Einwirkung der in Betracht kommenden Schadstoffe, Folgen von O<sub>2</sub>-Mangel, Physiologie der Atmung, Belastung durch Atemschutzgeräte, Aufbau und Funktion der Filtergeräte, Grenzen der Schutzwirkung, Benutzungsdauer, Filteraustausch, Anlegen der Geräte, Wahrnehmung des Filterdurchbruchs, Instandhaltung, Wartung, Kontrolle und Entsorgung umfassen. Die Unterweisung hat durch eine geeignete Person zu erfolgen, die Übung sollte, ergänzt durch praktische Anwendungen, einmal jährlich wiederholt werden.

### *PSA vor Beschaffung hinreichend testen*

Die Beschaffung der Komponenten der PSA stellt einen hohen Kostenfaktor dar. Vor der Beschaffung ist deshalb eine intensive Prüfung der angebotenen Geräte und Materialien hinsichtlich der Eignung für den vorgesehenen Einsatzbereich unabdingbar. Umfangreiche eigene Erfahrungen haben gezeigt, dass ein nicht zu vernachlässigender Anteil der auf dem Markt angebotenen Produkte zwar die erforderlichen technischen Voraussetzungen erfüllt, sich in der praktischen Anwendung jedoch als absolut ungeeignet erweist.

Zum Abschluss deshalb der Rat, vor der Beschaffung ggf. eine Expertenmeinung einzuholen sowie von den Herstellern Testprodukte anzufordern, um im vorgesehenen Einsatzbereich eigene und individuelle Tests hinsichtlich der Praktikabilität der Produkte durchzuführen.

### **3.5 Schützt medizinischer Mund-Nasen-Schutz auch den Behandler?**

*Hans-Ulrich Tobys*

#### **Zusammenfassung**

Bereits vor 10 Jahren haben erste Untersuchungen im Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitsschutz (BGIA, ehemals BIA) an handelsüblichem medizinischen Mund-Nasen-Schutz gezeigt, dass die wenigsten unter den ausgewählten Produkten in der Lage sind, die Atemwege des Trägers effektiv vor Luft getragenen Infektionserregern zu schützen. Erneute Untersuchungen Anfang des Jahres 2005 an 16 Typen repräsentativer marktüblicher Mund-Nasenschutzprodukte haben diese Ergebnisse bestätigt.

In Anlehnung an die europäische Norm für Partikel filtrierende Halbmasken (DIN EN 149, 2001) sind bei den untersuchten Produkten die Penetration des Filtermediums (Filterwirksamkeit) durch feste (Natriumchlorid) und flüssige (Paraffinöl) Prüfaerosole, der Dichtsitz über Leckageprüfungen an Probanden sowie die Einatmungswiderstände ermittelt worden. Die Bewertung der Schutzwirkung erfolgte anhand der in EN 149 dafür festgelegten Leistungsklassen.

Ein effizienter Schutz des Behandlers kann nur dann gewährleistet werden, wenn die Auswahl von medizinischem Mund-Nasen-Schutz in Abstimmung auf den jeweiligen Einsatzzweck risikobezogen durchgeführt wird. Hierzu müssen entsprechende Leistungsdaten vorliegen, die auf die beschriebene Weise ermittelt worden sind.

#### **Schützt medizinischer Mund-Nasen-Schutz die Atemwege?**

In vielen Bereichen des Gesundheitswesens werden in der alltäglichen Praxis OP-Mund-Nasen-Schutz-Produkte (MNS, Synonym OP-Masken) nicht nur zum Schutz des Patienten eingesetzt, sondern häufig auch zum Schutz der Atemwege des Behandlers gegen infektiöse Keime, die vom Patienten herrühren.

Da es sich bei den durch die Luft transportierten Infektionserregern um Partikel (an Tröpfchen gebundene Viren, Bakterien; selten freie Infektionserreger) handelt, spricht nichts gegen die Annahme, dass sich solche Aerosole infektiöser Teilchen in ihrem strömungsmechanischen Verhalten wie Aerosole unbelebter Teilchen verhalten.

Zur Unterbindung dieses Übertragungsweges bieten sich deshalb Partikel filternde Atemschutzgeräte oder Mund-Nasen-Schutz (MNS) an. Eine Zulassung vor Markteinführung auf Basis aussagefähiger Prüfungen, wie es für alle Atemschutzgeräte gesetzlich vorgeschrieben ist, wird für medizinische Mund-Nasen-Schutz-Produkte (MNS-Produkte) nicht verlangt. Entsprechende Prüfergebnisse liegen somit für MNS-Produkte nicht vor.

In der Werbung für die dafür angebotenen Produkte tauchen Aussagen wie „ausgezeichnete Filterleistung, Filtereffizienz von mehr als 99 Prozent“ auf. Ob die (bezüglich der Konzeption dieser Geräte nicht vorgesehene) Verwendung von MNS als Atemschutzgerät seine Berechtigung hat, sollten einschlägige Prüfungen nach standardisierten Anforderungen für einfache Atemschutzgeräte in zwei Untersuchungsreihen zeigen.

## **Medizinischer Mund-Nasen-Schutz ist kein Atemschutz!**

Medizinische MNS-Produkte, die üblicherweise in Krankenhäusern eingesetzt werden, erfüllen überwiegend **nicht** die Anforderungen der europäischen Richtlinie für persönliche Schutzausrüstungen (PSA-Richtlinie) an Atemschutzgeräte. Zu diesem Ergebnis kam das BGIA (ehemals BIA) bereits 1996, nachdem elf handelsübliche Produkte untersucht worden sind.

## **Prüfgrundlagen**

Das BGIA ist eine akkreditierte Prüf- und Zertifizierungsstelle für Atemschutzgeräte. Wegen der Ähnlichkeit von Design und Funktion mit Partikel filternden Halbmasken, die ebenfalls zum einmaligen Gebrauch vorgesehen sind, wurde bei der Überprüfung der medizinischen MNS-Produkte auf die für diese Atemschutzgeräte gültige europäische Prüfnorm DIN EN 149 Bezug genommen.



Es wurden drei zur Beurteilung der Schutzwirkung von MNS signifikante Tests in Anlehnung an die DIN EN 149 (DIN EN 149, 2001) durchgeführt. Neben der Ermittlung des Atmungswiderstandes als Maß für die zusätzliche Atemwegsbeanspruchung des Trägers durch den MNS wurden der Filtermaterial-Durchlassgrad und die Gesamtleckage mittels eines Kochsalzaerosols (NaCl) zur Beurteilung des potenziellen Eintrages von Gefahrstoffen bzw. Krankheitserregern ermittelt.

Mehr als 99 Prozent der NaCl-Partikel des nach (DIN EN 143, 2000) eingesetzten Prüfaerosols sind kleiner als  $1\ \mu\text{m}$  und ca. 70 Prozent kleiner als  $0,1\ \mu\text{m}$  (Abb. 17) (DIN EN 143, 2000).

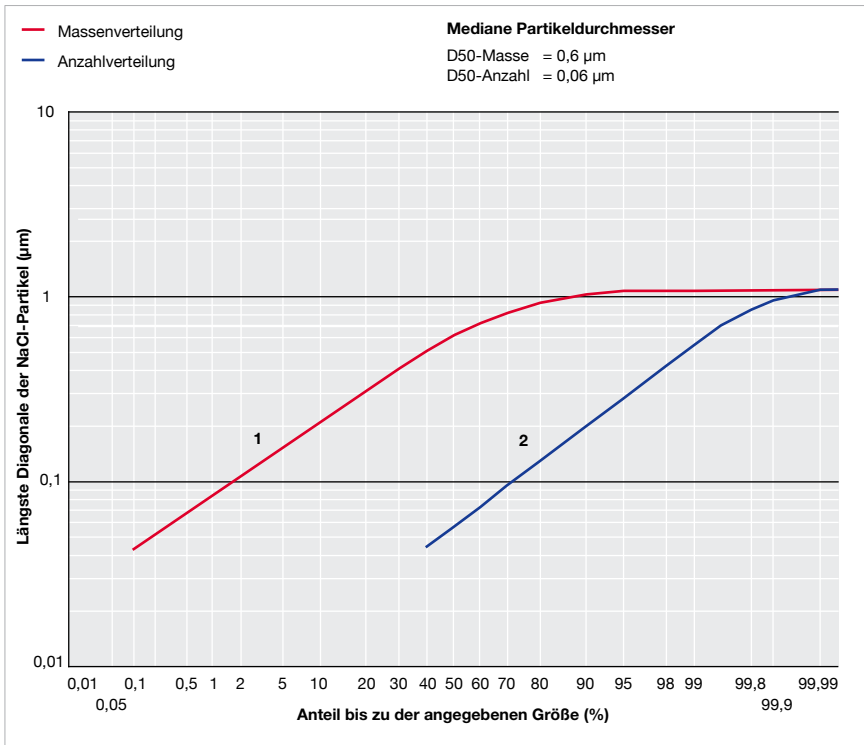


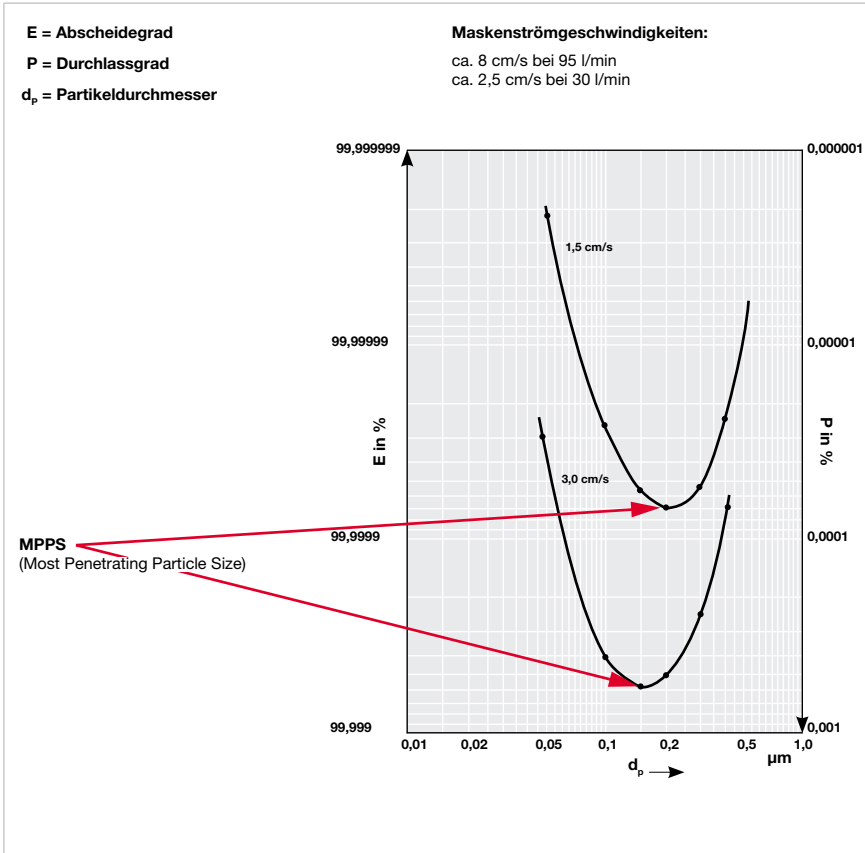
Abb. 17: Partikelgrößenverteilung NaCl-Aerosol erzeugt durch Zerstäuben einer 1%-igen NaCl-Lösung bei 3,45 bar

Damit wird der Größenbereich von isolierten Viren (ca. 0,01 µm bis 0,3 µm) und nicht an Tröpfchen gebundenen Bakterien (> 0,5 µm) und der Bereich der größten Durchlässigkeit solcher Filtermedien, wie die Kurve des Filterabscheidgrades prinzipiell zeigt (Abb. 18) (CDC, 2003), abgedeckt.

Der ermittelte Filtermaterial-Durchlassgrad bei 95 l/min kontinuierlichem Volumenstrom entspricht angenähert dem „worst case“ des Durchlassgrades bei dem kurzzeitig auftretenden Atemspitzenvolumenstrom bei leichter bis mittelschwerer körperlicher Tätigkeit.

Dagegen entspricht der Filtermaterial-Durchlassgrad bei 30 l/min kontinuierlichem Volumenstrom angenähert dem mittleren Filtermaterial-Durchlassgrad entsprechend einer Veratmung bei leichter bis mittelschwerer körperlicher Tätigkeit und liefert daher zusätzliche Informationen zur Abschätzung der Gesichtslackage (Verpassungslackage), die in grober Nahrung als Differenz von Gesamtlackage und Filtermaterialdurchlassgrad angenommen werden kann.

Die Gesichtslackage resultiert aus der nicht hinreichenden Anpassung des Atemschutzes an die Gesichtskonturen des jeweiligen Trägers.



**Abb. 18:** Fraktionsabscheidegrad E und Fraktionsdurchlassgrad P eines Hochleistungs-Schwebstofffiltermediums als Funktion des Partikeldurchmessers  $d_p$  für zwei verschiedene Filtermediumgeschwindigkeiten (Beispiel)

## **Ergebnisse der Untersuchung von 1996**

- Der Test von 1996 offenbarte erhebliche Unterschiede zwischen den einzelnen Produkten.
- Die Wirksamkeit des Filtermaterials differierte je nach Produkt zwischen 6 und 87 Prozent.

### *Das bedeutet:*

Zwischen 94 und 13 Prozent der Partikel gingen durch das Filtermaterial. Lediglich zwei der untersuchten Produkte erfüllten hinsichtlich Filterwirksamkeit und Gesamtleckage die Mindestanforderungen der europäischen Norm an eine Partikel filtrierende Halbmaske der niedrigsten Stufe, der Geräteklasse FFP 1. Eine „hohe Filterleistung“ oder gar „eine Filtereffizienz von mehr als 99 Prozent“ konnte in keinem Fall festgestellt werden.

## **Zweite Untersuchung medizinischer Mund-Nasen-Schutz-Produkte**

Auf Grund der im Arbeitskreis „Atemschutz und Infektionserreger“ im berufsgenossenschaftlichen Koordinierungskreis für biologische Arbeitsstoffe „KOBAS“ nach dem Auftreten für den Menschen neuartiger Infektionserreger (SARS) entstandenen Diskussion um den geeigneten Atemschutz gegen luftgetragene Infektionserreger mit der Fragestellung, ob die Ergebnisse der Untersuchung von 1996 für die aktuellen Produkte noch relevant sind oder ob inzwischen verbesserte Produkte auf dem Markt sind, hat sich das BGIA bereit erklärt, die Untersuchung zu aktualisieren.

Für die Untersuchung wurden 16 markttypische MNS-Produkte von der Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege zufällig ausgewählt und der Prüfstelle zur Verfügung gestellt (Übersicht 5).

## KOBAS-AK „Atemschutz und Infektionserreger“

### Übersicht Testprodukte

<b>A</b>	<b>UNIGLOVES Profil „Weiß“</b>
<b>B</b>	<b>IRMA Facemate Einmal-OP-Masken</b>
<b>C</b>	<b>Mölnlycke Health Care Barrier</b>
<b>D</b>	<b>Tie-On Selectiv „blau/weiß“</b>
<b>E</b>	<b>roeko Directa Schmutzmasken „blau“</b>
<b>F</b>	<b>Disposable Face Masks Single Ply</b>
<b>G</b>	<b>KOLMI OP-Maske „Blau“</b>
<b>H</b>	<b>Kimberly-Clark Tecnol Teddy Bear</b>
<b>I</b>	<b>Braun BE-EM Visma Plus</b>
<b>K</b>	<b>roeko Protecta „weiß/grün“</b>
<b>L</b>	<b>Golden Phönix</b>
<b>M</b>	<b>Golden Phönix Fiberwebs Bio-A-Safe</b>
<b>N</b>	<b>SH2950 Particulate Respirator Niosh</b>
<b>O</b>	<b>FarStar Anti-Fog</b>
<b>P</b>	<b>FarStar Surgical Plus</b>
<b>Q</b>	<b>Hartmann Medical Special</b>

Übersicht 5: Übersicht Testprodukte (Quelle: BGIA)

Bei 14 der zur Verfügung gestellten Produkte handelt es sich um nicht formstabile sog. chirurgische Masken (OP-Masken). Bei den beiden formstabilen MNS-Produkten handelt es sich um ein vorgeformtes Produkt und eine nach Gesichtsanpassung formstabile Faltmaske. Alle Produkte bis auf die Faltmaske haben keinerlei Kennzeichnung.

Bei der Faltmaske handelt es sich um eine nach NIOSH-Standard geprüfte und als N95 klassifizierte Maske mit typ- und klassenidentischer Kennzeichnung, die in den CDC Richtlinien (MMWR 2003; 52 No. RR-10 und MMWR 1994; 43 No. RR-13) zur Infektionsprävention bei TBC empfohlen wird.

Der Prüfstand zur Gesamtleckagebestimmung sowie einige Prüfbedingungen sind im folgenden Bild (Abb. 19) dargestellt.



**Abb. 19:** Prüfaerosol: NaCl  
 Laufband (v): 6 km/h  
 Übungen: Gehen  
     Gehen+ Kopfdrehen  
     Gehen+ Kopfnicken  
     Gehen+ Sprechübung  
     Gehen  
 Probenahme: 2 Minuten/Übung  
 Gesamtprüfzeit: ca. 20 Minuten  
 Belastungsprofil/-simulation:  
 Mittelschwere Arbeit

## Ergebnisse

Bei der Überprüfung der Gesamtleckage als Maß für die Schutzleistung erfüllen 12 der 16 Produkte nicht einmal die Anforderung an Partikel filternde Halbmasken mit dem niedrigsten Schutzniveau (FFP1) (Abb. 20).

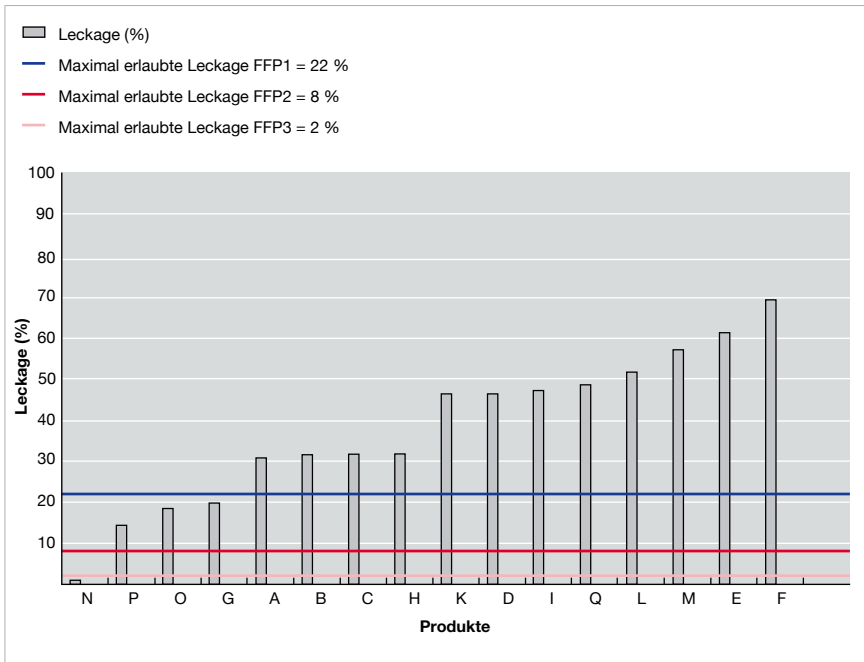


Abb. 20: Prüfungsergebnisse in Anlehnung an EN 149:2001(Quelle: BGIA)

Lediglich vier Produkte erfüllen hinsichtlich der Gesamtleckage die Anforderungen an Atemschutzgeräte nach DIN EN 149; davon haben drei eine Schutzwirkung entsprechend dem FFP1-Typ (max. Gesamtleckage 22 Prozent) und eine die des Typs FFP3 (max. Gesamtleckage 2 Prozent).

Ein vergleichbares Bild (Abb. 21) zeigt sich bei der Messung des Filtermaterial-Durchlassgrades bei dem in DIN EN 149 geforderten Volumenstrom von 95 l/min.



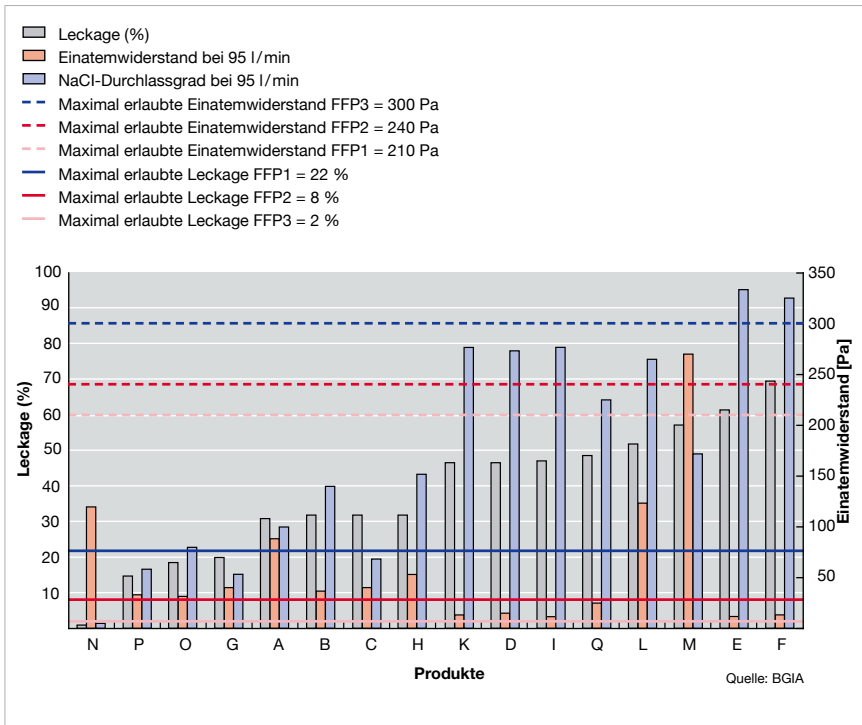


Abb. 21: Prüfungsergebnisse in Anlehnung an EN 149:2001 (Quelle: BGIA)

Mit Durchlassgraden zwischen 22 Prozent und 95 Prozent liegen 12 Produkte außerhalb des zulässigen Normbereiches. Lediglich drei MNS erfüllen die Anforderungen an den Durchlassgrad der Stufe FFP1 (max. Durchlassgrad 20 Prozent) und eine erreicht die Leistungsstufe FFP2 (max. Durchlassgrad 6 Prozent).

Bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Untersuchungsergebnisse Gesamtleckage und Durchlassgrad werden die Anforderungen der DIN EN 149 an die Leistungsstufe FFP1 nur noch von zwei MNS sowie an die Leistungsstufe FFP2 von einer MNS erfüllt (Abb. 21).

Wie Abbildung 21 ebenfalls zeigt, stellen die normativen Anforderungen an den max. zulässigen Ein- bzw. Ausatemwiderstand keine Hürde für den Großteil der MNS dar.

Für 12 der 16 MNS wurde zusätzlich untersucht, welche der Faktoren für die Gesamtleckage, die sich aus der Gesichtsleckage (Undichtigkeiten zwischen Maskenrand und Gesicht des Trägers) und dem Filtermaterial-Durchlassgrad zusammensetzt, bestimmend sind.

Hierzu ist entsprechend den Bedingungen der Leckagemessungen der Filtermaterial-Durchlassgrad mit NaCl-Aerosol bei 30 l/min kontinuierlich gemessen worden (Abb. 22).

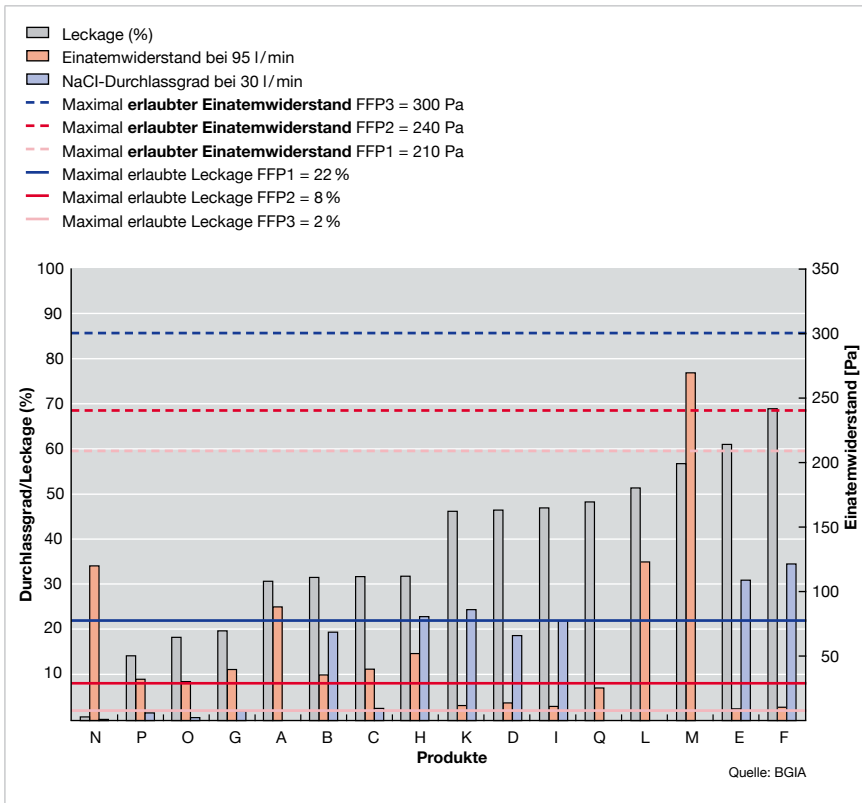


Abb. 22: Prüfungsergebnisse in Anlehnung an EN 149:2001 (Quelle: BGIA)

Bei den MNS K, D, I, E und F wird ein niedriger Atemwiderstand im Verhältnis zum Durchlassgrad gemessen. Hier hat die Penetration der Partikeln durch das Filtermaterial einen wesentlichen Einfluss mit einem Anteil von etwa 40 bis 60 Prozent zur Gesamtleckage.

Bei gut abscheidenden Materialien im Bereich von 0,2 bis 3 Prozent mit hohem Atemwiderstand (N, P, O, G, C) ist der relative Anteil der Verpassungsleckage mit 85 bis 90 Prozent an der Gesamtleckage wesentlich größer und überwiegt demzufolge den Effekt des Partikeldurchgangs durch das Filter-

material. Aus diesen Ergebnissen lässt sich fest halten, dass die durch den Dichtsitz verursachte Verpassungsleckage als Beitrag zur Gesamtleckage umso bedeutsamer wird, je leistungsfähiger das Filtermaterial ist.

In gleicher Weise wird der Einfluss der Partikelgrößenverteilung auf das Gesamtleistungsvermögen des „Atemschutzes“ immer unwichtiger. Auf Grund der unterschiedlichen Eigenschaften von öligen im Vergleich zu wässrigen bzw. wasserbasierenden Aerosolen, mit denen im Falle von Viren und Bakterien zu rechnen ist, wurde die in der DIN EN 149 geforderten Filtermaterial-Durchlassgradprüfung mit dem noch kritischeren Paraffinölnebel als flüssiges Aerosol bei dem geforderten Volumenstrom von 95 l/min nicht in Erwägung gezogen.

Hier wurden lediglich bei einem Volumenstrom von 30 l/min für 12 der 16 MNS die Durchlassgrade ermittelt und den entsprechenden NaCl-Filterdurchlassgraden informativ in Abbildung 23 gegenüber gestellt.

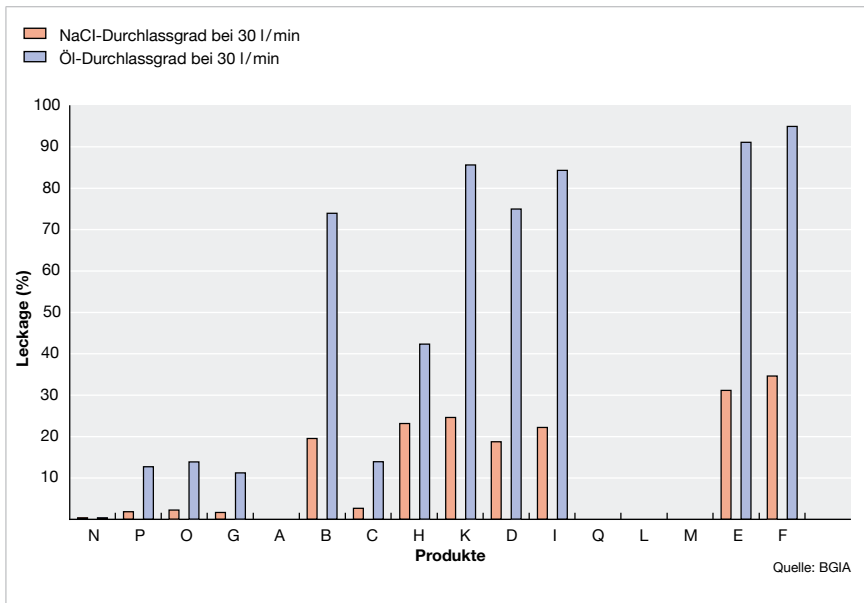


Abb. 23: Prüfungsergebnisse in Anlehnung an EN 149:2001 (Quelle: BGIA)

## Fazit

Die aktualisierte Überprüfung der medizinischen Mund-/Nasenschutzprodukte bestätigte das Ergebnis der Untersuchung von 1996. Viele der medizinischen MNS-Produkte sind kein geeigneter Atemschutz zum Schutz der Atemwege gegen luftgetragene Infektionserreger.

Der Behandler wird also von den meisten MNS nicht hinreichend gegen infektiöse Aerosole geschützt. Der Einfluss der Leckage, somit die Anpassung an die Gesichtsform des Trägers, ist wesentlich für die Effizienz eines Produktes. Der Filterwiderstand des Materials, die Form und Flexibilität eines MNS sowie die Anpassung (Fit) an das Gesicht des Trägers sind die für die Verpassungsleckage entscheidenden Faktoren.

Bei den geprüften Produkten ist die Filtereffizienz gegen ölbasierende Tröpfchenaerosole wesentlich geringer als gegen feste Aerosole. Ein effizienter Schutz des Behandlers kann nur dann gewährleistet werden, wenn die Auswahl von medizinischem MNS in Abstimmung auf den jeweiligen Einsatzzweck risikobezogen durchgeführt wird. Hierzu müssen entsprechende Leistungsdaten vorliegen, die z. B. auf die beschriebene Weise ermittelt werden.

Unter dem Begriff medizinischer Mund-Nasen-Schutz werden zurzeit Produkte von der einfachsten uneffektiven Einlagenpapiermaske bis zur hochwertigen, mit den nach einschlägigen Normen geprüften Partikel filtrierenden Halbmasken vergleichbaren, mehrlagigen Masken mit guter Gesichtsanpassung vertrieben. Eine entsprechende Klassifizierung und entsprechende Kennzeichnung erscheint uns als zwingend.

## Ausblick

Auf Anregung der Experten im Berufsgenossenschaftlichen Arbeitskreis „Atemschutz und Infektionserreger“, der sich übrigens auch mit dem speziellen Thema „Influenza“ beschäftigt, bietet das Berufsgenossenschaftliche Institut für Arbeitsschutz Prüfungen für medizinischen Mund-Nasen-Schutz in Anlehnung an die europäische Norm für Partikel filtrierende Halbmasken (EN 149) an.

Der Bundesverband Medizin Technologie e.V., Berlin wurde entsprechend informiert. Ziel dieser kostenpflichtigen Prüfungen, die sich in erster Linie an Hersteller von medizinischem MNS wenden, ist die Feststellung der grundsätzlichen Eignung solcher Ausrüstungen als Schutz des Anwenders vor luftgetragenen biologischen Erregern. Es ist dabei vorgesehen, den Durchlassgrad des Filtermediums durch feste Prüfaerosole, den Dichtsitz über eine Leckageprüfung an Probanden sowie Ein-und-Ausatmungswiderstände zu ermitteln.

Die Bewertung des Schutzniveaus erfolgt anhand der in der DIN EN 149 dafür festgelegten Leistungsklassen und bietet hierdurch die Möglichkeit einer gezielten Auswahl in Abstimmung auf die Risiken und Erfordernisse in der praktischen Anwendung.

Bei erfolgreichem Abschluss der Prüfungen können die Ergebnisse auf Wunsch des Auftraggebers in eine dafür vorgesehene Positivliste aufgenommen werden, die auf der Homepage des BGIA veröffentlicht wird. Die Prüfkosten betragen derzeit 2.000 Euro incl. Testbericht und Aufnahme in die Positivliste. Die erzielten Ergebnisse können für den Hersteller eines Mund-Nasen-Schutzes auch zu einer vollständigen Baumusterprüfung mit Zertifizierung seines Produktes nach PSA-Richtlinie 89/686/EWG herangezogen werden.

## Literaturhinweise

CDC Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities, Recommendations of CDC and the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC), MMWR 2003; 52 No. RR-10.

CDC Guidelines for Preventing the Transmission of Mycobacterium tuberculosis in Health-care Facilities, 1994, MMWR 1994; 43 No. RR-13.

DIN EN 143. (2000). Atemschutzgeräte – Partikelfilter – Anforderung, Prüfung, Kennzeichnung. Beuth Verlag Berlin. Ref Type: Patent.

DIN EN 149. (2001). Atemschutzgeräte – Filternde Halbmasken zum Schutz gegen Partikeln – Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung. Beuth Verlag Berlin. Ref Type: Patent.

DIN EN 1822. (1998). Teil 1 „Schwebstofffilter (HEPA und ULPA) – Teil 1: Klassifikation, Leistungsprüfung, Kennzeichnung“. Beuth Verlag Berlin. Ref Type: Patent.





### **3.6 Schulungen im Bereich Persönlicher Schutzausstattung am Beispiel des ABC-Curriculums**

*Jürgen Schreiber*

#### **Zusammenfassung**

Den internationalen Geschehnissen der letzten vier Jahre ging die Neuordnung des Zivil- und Katastrophenschutzes in den 80er und 90er Jahren voraus. Ihr Ergebnis war die erhebliche Reduzierung der Aufwendungen von Bund und Ländern für den Katastrophen- und Zivilschutz, dabei insbesondere auch für den ABC-Schutz.

Angesicht der heutigen Bedrohungslage und zum Schutz der Bevölkerung ist ein integriertes Hilfeleistungssystem erforderlich. Um die Funktionalität dieses Hilfeleistungssystem sicherzustellen, müssen alle Beteiligten an der Gefahrenabwehr interdisziplinär und Ressort übergreifend zusammenarbeiten. Einheitliche Ausbildungsgrundlagen sind für ein effizientes Zusammenwirken in der Gefahrenabwehr unbedingte Voraussetzung. Im Lichte dieser Entwicklung wurde bereits im Herbst 1999 von der Ständigen Konferenz für Katastrophenvorsorge und Katastrophenschutz (SKK) die Projektgruppe 9 mit dem Arbeitstitel „ABC-Risiken und Gefahrenlagen (PG9)“ gegründet.

Die PG9 wurde von dem Plenum der SKK beauftragt, ein Konzept für eine standardisierte Grundausbildung für alle an der Gefahrenabwehr in einem ABC-Einsatz Beteiligten zu entwickeln und eine entsprechende Empfehlung hierzu vorzubereiten. Unter der Mitwirkung des BBK, des BMVg, der DFV, der AKNZ, einigen Berufsfeuerwehren, der Spitzenverbände der Hilfsorganisationen, der Bundesanstalt THW, Vertretern des ÖGD, des RKI sowie verschiedener medizinischer Fakultäten und Einrichtungen wurde das Curriculum „Standardisierte ABC-Grundausbildung“ entwickelt. Es vereinheitlicht die ABC-Grundausbildung für alle Einsatzkräfte und definiert die Mindestanforderung zur Schulung in der Notfallvorsorge und der Gefahrenabwehr. Die Lerninhalte sollten im Interesse der Vereinheitlichung der Ausbildung zwingend Bestandteil der jeweiligen Grundausbildung sein und regelmäßig auch in die Fortbildung der Einssatzkräfte einfließen. Eine weitere Zielgruppe können

Mitarbeiter von Behörden, Institutionen des Gesundheitswesens und Mitarbeiter der tangierenden Bereiche in der Schadensbeseitigung, z. B. der Ver- und Entsorgung sein, die unter anderem auf Basis dieser Ausbildung qualifiziert werden können. Aufbauend auf diese Grundausbildung müssen weiterführende, spezifische Aus- und Fortbildungen der Einsatzkräfte für den jeweiligen Einsatzbereich durchgeführt werden. Die Lernabschnitte umfassen die Themen:

- ABC-Grundlagen
- ABC-Schutzmaßnahmen
- Einsatzlehre
- rechtliche Grundlagen im ABC-Einsatz
- Sonstiges (z. B. Auswirkung von Schutzzuständen, Probleme von Langzeitlagen, Isolations- und Kommunikationsprobleme, Schulung zur Anleitung Betroffener und der Bevölkerung zu angemessenem Verhalten und in Selbstschutzmaßnahmen)

## **Ausgangssituation**

Den internationalen Geschehnissen der letzten vier Jahre ging die Neuordnung des Zivil- und Katastrophenschutzes in den 80er und 90er Jahren voraus. Ihr Ergebnis war die erheblichen Reduzierung der Aufwendungen von Bund und Ländern für den Katastrophenschutz und Zivilschutz. Fahrzeuge und Ausrüstungen wurden zum Teil an die Leistungserbringer übergeben, für die persönliche Ausstattung der Helfer, deren Ausbildung, die Aufrechterhaltung der Einsatzbereitschaft dieser Einsatzfahrzeuge und zur Materialerhaltung für dieses Kontingent standen jedoch die nötigen Mittel nicht mehr zur Verfügung. Die Verantwortlichen in der Gefahrenabwehr bei Bund, Ländern und Kommunen mussten so Entscheidungen zu Lasten der Vorhaltungen für Einsatzszenarien treffen, deren Eintrittswahrscheinlichkeit als am geringsten eingestuft wurde. Einer der am meisten betroffenen Bereiche war der ABC-Schutz. Vorhandene Ausrüstungen des Bundes wurden drastisch reduziert und Aufgaben des ABC-Schutzes werden, mit wenigen Ausnahmen, nur noch von Feuerwehren wahrgenommen. Ausschließlich die Feuerwehren verfügen heute für ABC-Einsätze flächendeckend und sichergestellt über angemessen qualifiziertes Personal, Ausrüstung und Einsatzkonzeptionen, um in den Gefahrenbereichen derartiger Einsatzstellen tätig zu werden. Natürlich sind bei der Bundesanstalt THW und auch bei den Hilfsorganisationen örtlich begrenzt oder spezialisiert

Kompetenzen vorhanden. Was aber ist, wenn andere Fachdienste mit den Feuerwehren zusammenarbeiten müssen, wenn zum Beispiel betroffene oder verletzte Personen wegen der Wirkung von ABC-Gefahren geschädigt sind und noch an der Einsatzstelle versorgt werden müssen, wenn sie stationärer medizinischer Behandlung bedürfen, wenn Dekontamination von Verletzten, von Material oder von Flächen in großen Einsatzdimensionen nötig sind? Angesichts der heutigen Bedrohungslage und zum Schutz der Bevölkerung ist hier ein integriertes Hilfeleistungssystem erforderlich. Um dieses Hilfeleistungssystem sicherzustellen, müssen alle Beteiligten an der Gefahrenabwehr interdisziplinär und Ressort übergreifend zusammenarbeiten. Einheitliche Ausbildungsgrundlagen sind für ein effizientes Zusammenwirken in der Gefahrenabwehr unbedingte Voraussetzung.

Im Lichte dieser Entwicklung wurde bereits im Herbst 1999 von der Ständigen Konferenz für Katastrophenvorsorge und Katastrophenschutz (SKK) die Projektgruppe 9 mit dem Arbeitstitel „ABC-Risiken und Gefahrenlagen (PG9)“ gegründet und mit einer Ist-Stand-Analyse beauftragt. Bereits im März 2000 bekannten sich die Spitzenverbände aller Hilfsorganisationen und des THW dazu, bis auf wenige Ausnahmen kaum noch Möglichkeiten zu haben, Einsätze in Beisein von ABC-Gefährdungen wirkungsvoll bearbeiten zu können. Es fehle neben geeigneter persönlicher Schutzausrüstung vor allem an Kompetenz für diese Lagen, also an Wissen, Konzeption und Fähigkeiten in der Durchführung der Fachdienstaufgaben unter ABC-Einwirkung sowie auch im Zusammenwirken mit den Fachdiensten, die für den ABC-Einsatz spezialisiert sind. Auch im Rettungsdienst und in der polizeilichen Gefahrenabwehr wurden diese Defizite deutlich.

### **Curriculum „standardisierte ABC-Grundausbildung“**

Unter diesem Eindruck wurde die PG9 von dem Plenum der SKK beauftragt, ein Konzept für eine standardisierte Grundausbildung für alle Beteiligte an der Gefahrenabwehr in einem ABC-Einsatz zu entwickeln und eine entsprechende Empfehlung hierzu vorzubereiten. So entwickelte die PG9 unter der Leitung von Herrn Dr. Willi Marzi (BBK) und der Mitwirkung des BBK, dem BMVg, dem DFV, der AKNZ, einigen Berufsfeuerwehren, der Spitzenverbände der Hilfsorganisationen, der Bundesanstalt THW, Vertretern des ÖGD, dem RKI sowie verschiedener medizinischer Fakultäten und Einrichtungen das Curriculum

**„Standardisierte ABC-Grundausbildung“.** Dieses Curriculum standardisiert die ABC-Grundausbildung für alle Einsatzkräfte und definiert die Mindestanforderung zur Schulung aller Einsatzkräfte in der Notfallvorsorge und der Gefahrenabwehr. Die Lerninhalte sollten im Interesse der Vereinheitlichung der Ausbildung zwingend Bestandteil der jeweiligen Grundausbildung sein und regelmäßig auch in die Fortbildung der Einsatzkräfte einfließen. Eine weitere Zielgruppe können Mitarbeiter von Behörden, Institutionen des Gesundheitswesens und Mitarbeiter der tangierenden Bereiche in der Schadensbeseitigung z. B. der Ver- und Entsorgung sein, die unter anderem auf Basis dieser Ausbildung qualifiziert werden können. Aufbauend auf diese Grundausbildung müssen weiterführende, spezifische Aus- und Fortbildungen der Einsatzkräfte für den jeweiligen Einsatzbereich durchgeführt werden.

Die Kapazität der sich aus dem Curriculum entwickelnden Ausbildung umfasst 17 Unterrichtsstunden mit jeweils 45 Minuten Unterrichtszeit. Die Ausbildungen sollen auf der „Vor-Ort-Ebene“ möglichst interdisziplinär durch die Leistungserbringer in der Gefahrenabwehr erfolgen, um Synergien und bestehende Ressourcen sinnvoll nutzen zu können. Gleichzeitig kann durch die Entsendung von Teilnehmern aller Leistungserbringer in einen gemeinsam durchgeführten Lehrgang die Zusammenarbeit gefördert und die Effektivität der Gefahrenabwehr durch persönliches Kennen der Aktionspartner weiter begünstigt werden. Inhaltlich ist das Curriculum in Lernabschnitte, Hauptthemen und Einzelthemen gegliedert. Die Lernabschnitte gliedern den insgesamt zu vermittelnden Stoff durch Ordnung in Oberbegriffe zu Themenblöcken. Ziel war hier vor allem, eine sinnvolle, modulare Durchführung der Ausbildung zu ermöglichen. Hauptthemen und Einzelthemen beschreiben die zu vermittelnden Inhalte und geben dem Ausbilder so einen detaillierten Überblick über die zu vermittelnden Lerninhalte und zur Sicherung einer einheitlichen Ausbildung aller Helfer. Die Einzelthemen beschreiben darüber hinaus, welche Themeninhalte, zielgerichteten Verhaltensweisen und Leistungen der Lehrgangsteilnehmer am Ende der Ausbildung in seiner Tätigkeit umsetzen kann.

Die Intensität dieser Befähigung wird in Lernzielstufen definiert, die an der Feuerwehr Dienstvorschrift 2 (FwDV2) angelehnt sind. So wird erreicht, dass die Lehr- und Lerntiefe dem Grundausbildungsniveau angepasst ist und nicht zur Überforderung der Teilnehmer führt.

Ständige Konferenz für Katastrophenvorsorge und Bevölkerungsschutz

## Standardisierte ABC-Grundausbildung Curriculum



Ständige Konferenz für Katastrophenvorsorge und Katastrophenschutz (SKK)  
Projektgruppe (PG 9) „Chemische und biologische Risiken und Gefahrenlagen“  
Leitung Dr. Willi Marzi

### Lernabschnitte:

- ABC-Grundlagen
- ABC-Schutzmaßnahmen
- Einsatzlehre
- Rechtliche Grundlagen
- Sonstiges

Schreiber SKK PG9<sup>®</sup> August 2005

### Übersicht 6: Übersicht der Lernabschnitte in der standardisierten ABC-Grundausbildung

## ABC-Grundlagen

Dieser Lernabschnitt beschreibt „Allgemeine Grundlagen“. In vier Unterrichtseinheiten werden ABC-Gefahren definiert und ihre Quellen abgeleitet. Einen großen Komplex stellen Inhalte zum Basiswissen über ABC- Gefahrstoffe dar. Hierbei werden deren Eigenschaften, Freisetzungs- und Ausbreitungsformen, deren gefährliche Wirkmechanismen und Gefährdungspotenzial thematisiert. Auch werden Kennzeichnungssysteme für ABC-Gefahrstoffe und Zeichen der möglichen Kontamination aufgezeigt.

## ABC-Schutzmaßnahmen

Kernstück dieses Lernabschnittes ist zweifellos die praktische Ausbildung im Umgang mit Persönlicher Schutzausrüstung (PSA) einschließlich der Durchführung von Gewöhnungsübungen für die fachdienstliche Aufgabenwahrnehmung unter PSA. Vorbereitend hierfür werden Systeme der PSA, wie die in der ABC-Gefahrenabwehr eingesetzt werden, dem Teilnehmer vorgestellt. Er lernt den Umgang mit den für seine Einsatzaufgaben angemessenen Schutzsystemen, wie sie angelegt werden, wie sie abgelegt werden, und auch, wie er Fehlerquellen erkennen kann. Auch soll er die Betroffene zur Anwendung eines

ABC-Selbsthilfesatzes anleiten können. Neben diesen praktischen Inhalten werden im Lernabschnitt ABC-Schutzmaßnahmen Grundregeln zum Eigenschutz und zur Schadensminimierung behandelt. Maßnahmen der Allgemeinen Hygiene und Grundregeln des persönlichen Schutzverhaltens für Betroffene und Helfer im Geschehen und nach dem Geschehen werden thematisiert. Wichtig ist hier vor allem die enge Aussagenbildung an die Rahmenvorschriften der BGR190, die Feuerwehr Dienstvorschriften 7 (Atemschutz) und 500 (Einheiten im ABC-Einsatz) sowie an die Hinweise zur PSA des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe.

Ständige Konferenz für Katastrophenvorsorge und Bevölkerungsschutz



**Standardisierte ABC-Grundausbildung**  
**ABC-Schutzmaßnahmen**

**Systeme der Persönlichen Schutzausrüstung**

Einzelthema	Inhalt
2.1.0 Einteilung der PSA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Definition Behelfsschutz</li> <li>• Definition Atemschutz und Körperschutz</li> <li>• Schutzstufendefinition</li> </ul>
2.1.1 Atemschutz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Taschentuch feucht/trocken, Chirurgischer Mundschutz, Staubschutzmaske (Behelfsschutz)</li> <li>• Filtrierende Halbmasken (FFP1-FFP3)</li> <li>• Filterklassen am Beispiel ABEK2-P3</li> <li>• Vollmaske/ Filter</li> <li>• Vollmaske/ Gebläse</li> <li>• Umluftunabhängiger Atemschutz (z.B. Pressluftatmer)</li> </ul>
2.1.2 Körperschutz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plane, möglichst wasserabweisend (Behelfsschutz)</li> <li>• Gummistiefel, Schutzhandschuhe, Atemschutz (Grundschutz)</li> <li>• Einmalanzüge, Einteilung, Beständigkeit</li> <li>• Infektionsschutzset (RTW-Norm): Schutzanzug (Einmalanzug), Atemschutz FFP3, Einmalschutzbrille, Schutzhandschuhe, ggf. Überziehschuhe, ggf. Kopfhülle, Entsorgungsbeutel</li> <li>• Persönliche ABC-Schutzausrüstung (Bund): Overgarment, neu + flüssigkeitsdichte Schutzkleidung Typ 3 nach EN 943 („Spritzschutzanzug“, Form 2 nach FwDV 500) + Schutzstiefel und –handschuhe</li> <li>• Vollschutz: Chemikalienschutzanzug (Form 3 nach FwDV 500)</li> </ul>

Schreiber SKK PG9<sup>®</sup> August 2005

**Übersicht 7: Themenkatalog Persönliche Schutzausstattung**

Ständige Konferenz für Katastrophenvorsorge und Bevölkerungsschutz



## Standardisierte ABC-Grundausbildung ABC-Schutzmaßnahmen

### Praktischer Umgang mit der PSA

Einzelthema	Inhalt
2.2.1 Übungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerätekunde</li> <li>• Auspacken</li> <li>• Anlegen (mögliche Probleme: Größe, Reihenfolge beim Anlegen)</li> <li>• Ablegen</li> <li>• Gewöhnungsübung</li> <li>• Fehlerquellen (Undichtigkeiten)</li> <li>• besondere Kommunikationsverfahren unter Schutzausstattung</li> <li>• Fachdienstliche Aufgabenwahrnehmung unter Schutzausstattung</li> </ul>

Beiden Hauptthemen liegen die Maßgaben der BGR 190, FwDV7, FwDV500 und des „Hinweises zur PSA“, BKK 11/2004 zu Grunde

Schreiber SKK PG9® August 2005

### Übersicht 8: Themenkatalog Praktischer Umgang mit der PSA

## Einsatzlehre

In diesem Lernabschnitt sollen Einsatzgrundsätze und Besonderheiten in der Bearbeitung von Lagen mit ABC-Gefährdungen bearbeitet werden. So sollen Teilnehmer Informationen zum Zusammenwirken von Fachdiensten und Behörden und zu Informationswegen erhalten. Sie lernen Prinzipien der Raumordnung sowie Absperrungs- und Kennzeichnungsmaßnahmen kennen. Darüber hinaus werden die Teilnehmer über mögliche Veränderungen von Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten, zu Quarantäne, Dekontamination und Desinfektion in einem B-Einsatz informiert. Für ihren eigenen Fachdienst lernen sie Einschränkungen der Fachaufgaben und besondere Arbeitsverfahren aufgrund des ABC-Einsatzes kennen und werden so auf ihre Aufgaben vorbereitet.

## **Rechtliche Grundlagen im ABC-Einsatz**

Inhaltlich soll in diesem Teil der Grundausbildung auf die rechtliche Situation des Helfers im ABC-Einsatz eingegangen werden. Seine Rechte, seine Pflichten und Einschränkungen, denen er in einem solchen Einsatz unterliegen kann, werden vermittelt. Darüber hinaus wird der Teilnehmer über Einschränkungen für die Bevölkerung sowie über seine Rechte gegenüber Dritten informiert.

## **Sonstiges**

Zwei Schwerpunkte werden in diesem Abschnitt behandelt. ABC-Einsätze können als komplexe Lage besondere psychologische Aspekte mit sich bringen. Der Helfer wird über die Auswirkung von Schutzzuständen, Probleme von Langzeitlagen, Isolations- und Kommunikationsprobleme informiert. Der zweite Schwerpunkt ist, den Teilnehmer darin zu unterweisen, wie er in komplexen ABC-Lagen Betroffene oder die Bevölkerung zu angemessenem Verhalten und zu Selbstschutzmaßnahmen anleitet, und auch, wie er übertragene Maßnahmen im Einsatz durchsetzen kann.

Die entsprechende Empfehlung „Curriculum standardisierte ABC-Grundausbildung“ der SKK wurde im März 2004 allen Entscheidungsträgern in Bund, Länder, Organisationen und Gremien mit Beteiligung an der Gefahrenabwehr überstellt.

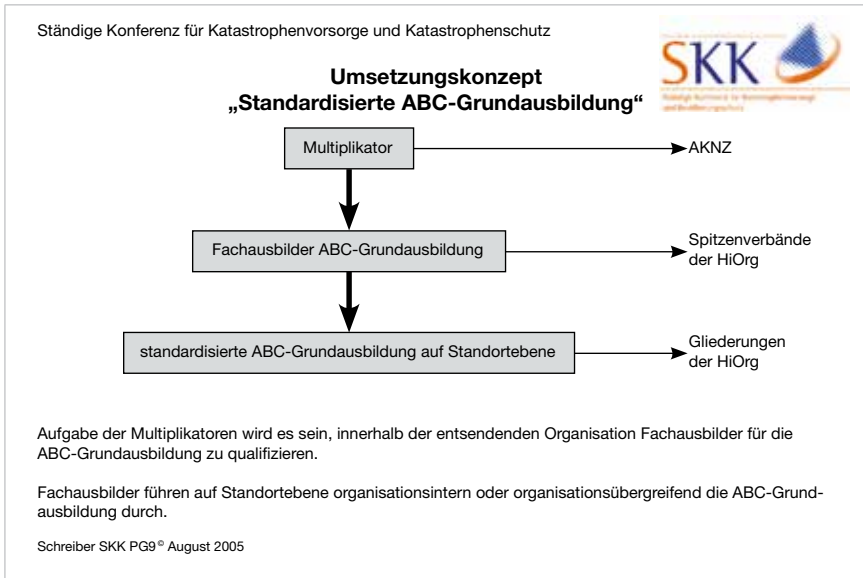


## Zusammenarbeit von BBK und PG9, Umsetzungsstrategie und Pilotlehrgang

In einem Jahr, vom April 2004 bis zum April 2005 entwickelten die PG9 und das BBK unter Mitwirkung der Zentren „Zivilschutzforschung, ABC-Schutz/-Vorsorge“ und „Zivilschutzausbildung“ gemeinsam eine Umsetzungsstrategie, um vor allem den fünf Hilfsorganisationen die Organisation und Durchführung der empfohlenen „ABC-Grundausbildung“ ihrer Helfer in den Einheiten auf Standortebene zu ermöglichen.

Schon an dieser Stelle ist es wichtig hervorzuheben, dass dieses erst der Beginn der Umsetzungsplanung sein kann, denn es sind zunächst die Rahmenbedingungen der Hilfsorganisationen, die der Träger der Gefahrenabwehr auf allen Ebenen und nicht zuletzt die Rahmenbedingungen der Kostenträger für diesen neuen Bestandteil der Grundausbildung der Helfer in Einklang zu bringen. Bei den Feuerwehren sind diese Ausbildungsinhalte integraler Bestandteil der Grundausbildung und auch die Bundesanstalt THW ist in der Umsetzungsphase.

Die erarbeitete Umsetzungsstrategie sieht zunächst eine Qualifizierung von Multiplikatoren vor. Die Aufgabe der Multiplikatoren wird sein, in den Hilfsorganisationen zunächst „Fachausbilder ABC-Grundausbildung“ darin zu schulen, wie sie auf der Standortebene die standardisierte ABC-Grundausbildung planen, organisieren und dann natürlich auch durchführen können. Dabei ist hervorzuheben, dass es sicher sinnvoll sein kann, auf bestehende Ressourcen vor Ort zurückzugreifen und Organisationen übergreifend vor allem die praktischen Ausbildungsanteile gemeinsam auszubilden. Weitere Arbeitsschritte waren die gemeinsame Erarbeitung eines „Lernziel- und Themenkataloges“ mit detaillierten Inhaltsangaben zur Durchführung der ABC-Grundausbildung und die Vorbereitung des Pilotseminars für Multiplikatoren.



### Übersicht 9: Umsetzungsmodell ABC-Grundausbildung

Vom 11.04.2005 bis zum 13.04.2005 wurde vom BBK an der AKNZ in Zusammenarbeit mit der SKK-PG9 das erste von zwei in diesem Jahr geplanten Pilotseminaren „Multiplikatoren für Ausbilder in der standardisierten ABC-Grundausbildung“ durchgeführt. Alle fünf Hilfsorganisationen hatten Teilnehmer entsandt und das Seminar wurde unter der Leitung von Dozenten der SKK-PG9 und des BBK durchgeführt. Als Seminar-Unterlage wurde den Teilnehmern ein Datenträger mit Fachinformationen und Vortragsdateien überreicht. Zusammengefasst kann aus der Seminaerauswertung abgeleitet werden, dass für die Durchführung von Ausbilder-Qualifikationen einerseits eine umfassende Sammlung von Fachinformationen erstellt und zur Verfügung gestellt werden muss und andererseits zusätzlich eine Lehrmittelsammlung sowie für die praktische Ausbildung Sätze unterschiedlicher, bedarfsorientierter Persönlicher Schutzausrüstung nötig sind. Vor allem für die Durchführung fachdienstlicher Aufgaben des Rettungs-, Sanitäts- und Betreuungsdienstes unter ABC-Bedingungen und im Rahmen des Zusammenwirkens mit den Feuerwehren im ABC-Einsatz bedarf es noch erheblicher Konzeptions- und Abstimmungsarbeit.

# 4

## Dekontamination



## 4.1 Einleitung: Die Dekontamination als Teil der Gefahrenabwehr; die Dekontamination von Personen, Raum- und Flächen-dekontamination sowie organisatorische und logistische Aspekte

*Walter Biederbick*

Die Dekontamination von Personen und Gerät stellt einen wesentlichen Teil der Gefahrenabwehr nach Zwischenfällen mit radioaktiven, biologischen oder chemischen Gefahrstoffen dar, wie **Andreas Bräutigam** (Feuerwehr Düsseldorf) in seinem Vortrag festgestellt hat. Der Komplexität und Bedeutung des Themas entsprechend wurden die Vorträge in drei Sitzungen aufgeteilt. In der ersten Veranstaltung zu diesem Thema wurde die Dekontamination von Personen betrachtet, es folgte eine Sitzung mit dem Schwerpunkt zu den Fragen der Raum- und Flächendekontamination. Den organisatorischen und logistischen Herausforderungen einer Dekontamination wurde ein eigener Schwerpunkt in Form einer Sitzung gewidmet.

**Rainer Wenke** (Feuerwehr „Robert Bosch“, Reutlingen) stellte als Vertreter der Arbeitsgruppe Katastrophenmedizin an der Universität Tübingen die Erkenntnisse vor, die auf einer Studie basieren, welche im Auftrag des Bundesverwaltungsamtes bzw. Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe durchgeführt worden war. In dem Vortrag wurde ein Konzept zur Dekontamination bei einem Massenansturm von Verletzten nach einem Schadensereignis mit chemischen Gefahrstoffen erläutert. In die Entwicklung dieses Konzeptes sind neben den Erfahrungen aus dem Sarinanschlag in Tokio (1995) und den Ergebnissen einer Literaturrecherche auch Erkenntnisse aus praktischen Übungen eingeflossen.

**Herbert Nattermann** (Robert Koch-Institut, Berlin) betrachtete die Wirkungen von Desinfektionsmitteln gegen bakterielle Erreger der Risikoklasse 3 anhand von Ergebnissen aus laborexperimentellen Arbeiten in Keimträgerversuchen. Einige bakterielle Erreger der Risikoklasse 3 stellen die größte Herausforderung an Dekontaminationsverfahren dar, da hier eine Widerstandsfähigkeit gegen Umwelteinflüsse vorliegen kann, die in der Natur ihresgleichen sucht. In dem Vortrag wurden die Schwächen einzelner Dekontaminationsmittel bzw. bestimmter Zubereitungen dargestellt und der Bedarf an weiteren Untersuchungen unter praxisnahen Bedingungen dokumentiert.

**Bärbel Niederwöhrmeier** (Wehrwissenschaftliches Institut für Schutztechnologien – ABC-Schutz, Munster) griff diese Thematik auf und beleuchtete in ihrem Beitrag die Besonderheiten der Raumdesinfektion. Neben dem etablierten Verdampfen oder Vernebeln von Formaldehyd-Lösungen, mit den bekannten Problemen und Schwächen, wurden alternative Verfahren vorgestellt und die Ergebnisse erläutert. Insbesondere die Nutzung von gasförmigem Wasserstoffperoxid scheint sich zu einer viel versprechenden Alternative zu entwickeln.

**Andreas Bräutigam** (Feuerwehr Düsseldorf) betrachtet in seinem Vortrag die technischen und organisatorischen Aspekte aus Sicht der Feuerwehr. Er gibt einen qualifizierten Sachstand und identifiziert den Handlungsbedarf für eine bessere Vorbereitung, wie er sich im September 2005 im Vorfeld der Vorbereitungen zur Fußball Weltmeisterschaft 2006 ergeben hat. Ein großer Teil dieser Forderungen gilt aber auch heute noch.

**Reinhard Steffler** (Feuerwehr Leipzig) betrachtet die Thematik der Dekontamination aus Sicht der Hilfsorganisationen und fokussiert dabei, neben den allgemeinen Anforderungen an ein ideales Dekontaminationsmittel, auf die Vorteile eines Einsatzes von Peressigsäure.

Die Besonderheiten im Umgang mit den Körpern Verstorbener, die an einer hoch kontagiösen Infektionskrankheit verschieden waren, beleuchtet **Alfred Riepertinger** (Pathologie München). Anhand von drei konkreten Szenarien und von notwendigen Maßnahmen im Katastrophenfall nach einem bioterroristischen Anschlag mit von Mensch zu Mensch übertragbaren Erregern wurden die Notwendigkeiten einer interdisziplinären Zusammenarbeit anhand der detailliert dargestellten zu treffenden Maßnahmen deutlich.

**Petra Dickmann** und **Christine Uhlenhaut** (beide Robert Koch-Institut, Berlin) schildern in ihren Vorträgen die Tenazität, darunter wird in diesem Kontext die Widerstandsfähigkeit von Bakterien, Viren und Toxinen gegen Umwelteinflüsse verstanden.

**Christine Uhlenhaut** zeigt in ihrer Übersicht die Besonderheiten von Viren und erläutert auf wissenschaftlicher Basis die Gründe für die unterschiedliche Empfindlichkeit bzw. Widerstandsfähigkeit von Viren gegen Dekontaminationsverfahren und andere Umwelteinflüsse.

**Petra Dickmann** spannt in ihrem Vortrag den Bogen von naturwissenschaftlichen Aspekten hin zu den gesellschaftspolitischen Konsequenzen, die eine Auseinandersetzung mit „kritischem Wissen“ in sich bergen kann.

Bei einer Gesamtschau der drei Sitzungen zu den verschiedenen Aspekten der Dekontamination wird deutlich, dass es sich um eine zentrale Aufgabe des Gefahrenabwehrprozesses handelt. Die zum Teil widersprüchlichen Auffassungen und kontroverse Diskussionen, wie sie auf und nach der GERMAN BIOSAFETY zu diesem Thema geführt wurden und werden, belegen, dass noch nicht alle Probleme gelöst sind und weiterer Handlungsbedarf in allen Bereichen gegeben ist, um den Herausforderungen, die ein Zwischenfall mit radioaktiven, biologischen oder chemischen Gefahrstoffen in sich bergen kann, gerecht zu werden.





## 4.2 Technische und organisatorische Aspekte der Dekontamination

*Andreas Bräutigam*

### Zusammenfassung

Die Dekontamination von Personen und Geräten stellt einen wesentlichen Teil der Gefahrenabwehr bei Zwischenfällen mit ABC-Stoffen dar. Bis 1997 gab es konkrete technische und organisatorische Vorgaben für diesen Bereich, allerdings nur für den ehemaligen ABC-Dienst im Katastrophenschutz des Bundes. Mit der Herausgabe der Richtlinie 10/04 „Dekontamination bei Feuerwehreinsätzen mit gefährlichen Stoffen und Gütern“ durch die Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes (vfdb) im Juni 1996 wurden erstmals Strukturen für die Feuerwehren definiert und konkrete Vorschläge zur abgestuften Gewährleistung einer ausreichenden Dekontamination unterhalb der Katastrophenschwelle gemacht. Die Inhalte dieser Richtlinie gingen in die 2003 erschienene Feuerwehr-Dienstvorschrift 500 „Einheiten im ABC-Einsatz“ ein.

Gerade im organisatorischen Bereich mussten die bisherigen Konzepte aber noch erweitert werden. Der kombinierte Brand- und ABC-Einsatz, das gleichzeitige Auftreten von A-, B- und C-Gefahren, die Dekontamination von Verletzten und/oder großen Personengruppen sowie das abgestimmte Zusammenwirken verschiedener Fachkräfte (Brandschutz, ABC-Abwehr, Betreuung, Rettungsdienst, Sicherheitsorgane) sind nicht ausreichend genau bzw. nicht einheitlich geregelt. Jede Feuerwehr muss selbst entscheiden, wie und in welchem Leistungsumfang sie technisch und organisatorisch die Rahmenvorgaben der FwDV 500 und der begleitenden Richtlinien mit Leben erfüllt. Hier existieren mittlerweile einige richtungweisende Konzepte aus verschiedenen Feuerwehren und anderen Organisationen. Es gibt jedoch auch Ideen, die zwar wissenschaftlich nachvollziehbar sind, aber in Bezug auf ihre Umsetzbarkeit kritisch hinterfragt werden müssen.

Die Erfahrungen der letzten Jahre mit der FwDV 500 und die wiederentdeckten „neuen Bedrohungen“ machten eine grundlegende Überarbeitung und Ergänzung der vfdb-Richtlinie 10/04 erforderlich. Sie wurde daher inhaltlich

erweitert sowie auf der Grundlage der Anwendererfahrungen modifiziert. Sie ist eine wichtige Handlungshilfe für Feuerwehren und andere Organisationen bei der Planung und Durchführung von Dekon-Maßnahmen.

## **Dekontamination bei der Feuerwehr – Sachstand**

Dekontamination (Dekon) im Rahmen von Gefahrenabwehrmaßnahmen ist in Deutschland heute fast ausschließlich Aufgabe der Feuerwehren. Sie ist jedoch keine Standardaufgabe jeder Feuerwehr, sondern kann in der Regel nur von Spezialeinheiten gewährleistet werden, die auch mit der allgemeinen ABC-Gefahrenabwehr betraut sind (ABC- oder Gefahrgutzüge o. ä.). Die bis 2003 gültigen Feuerwehr-Dienstvorschriften für den ABC-Einsatz (FwDVen 9/1, 9/2 und 14) enthielten keine verbindlichen Vorgaben für die Durchführung der Dekontamination. Dies führte zu einer Vielfalt an Dekon-Konzepten in der deutschen Feuerwehrlandschaft. Erst die Aufnahme der Inhalte der vfdB-Richtlinie 10/04 in die 2003 erschienene FwDV 500 führte zu einheitlichen Grundlagen für die Dekontamination. Die FwDV 500 ist mittlerweile in fast allen Ländern eingeführt und findet allmählich Eingang in die Feuerwehren. Von einer flächendeckenden Umsetzung kann aber noch nicht gesprochen werden. Dies hat nicht zuletzt seine Ursache im Festhalten der Feuerwehren an den gewachsenen lokalen Strukturen für den ABC-Einsatz.

Während die Dekon von Einsatzpersonal im Rahmen von Einsätzen der täglichen Gefahrenabwehr seit jeher von den Feuerwehren durchgeführt wurde, erweiterte sich zu Beginn der 1990er Jahre der Aufgabenbereich Dekon für viele Feuerwehren durch die Übernahme von ABC-Schutzaufgaben aus dem Zivilschutzsektor. Die Überleitung dieser Aufgabe an die Feuerwehren bestand an vielen Standorten jedoch lediglich aus der Übergabe der Ausstattung und zum Teil auch des Personals der ehemaligen ABC-Züge an die Feuerwehren. Die bundeseinheitlichen Taktikvorgaben und Ausbildungsleitfäden des Bundes traten zeitgleich außer Kraft, so dass den Feuerwehren eine wichtige Arbeitsgrundlage für die Wahrnehmung dieser Aufgaben fehlte. Die Ausstattung wurde daher an vielen Standorten gar nicht oder nur ansatzweise in die Feuerwehrstrukturen integriert. Die ab 1999 ausgelieferte neue Generation von Dekon-Ausstattung des Bundes (Dekontaminationslastkraftwagen mit Dekon-Anlagen für Personen) kann im Auslieferungszustand nicht für die Gefahrenabwehr genutzt werden, sondern

muss durch Schutzkleidung für die Helfer, Dekon-Mittel und Ersatzkleidung für dekontaminierte Personen materiell ergänzt werden. Konzepte des Bundes zur Führung mehrerer gemeinsam eingesetzter Einheiten und zur sanitätsdienstlichen Begleitung der Dekon-Maßnahme liegen derzeit nicht vor. Diese Einflussfaktoren führten dazu, dass die Ausstattung nicht an allen Standorten einsatzbereit vorgehalten wird. Teilweise wurden die Dekon-Anlagen eingelagert, um das Transportfahrzeug für allgemeine Transportaufgaben nutzbar zu machen. Ferner steht nicht an allen Standorten ausreichend geschultes Personal zur Verfügung. Für die Dekontamination von Geräten, Fahrzeugen und Geländeteilen (Dekon G) haben die Feuerwehren flächendeckend derzeit nur äußerst begrenzte Ressourcen. Ein Austausch der Dekon G-Ausstattung aus den 1970er/80er Jahren hat seitens des Bundes bisher nicht stattgefunden.

Im Hinblick auf die internationale Sicherheitslage und die Fußballweltmeisterschaft 2006 haben neben den Feuerwehren auch andere Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) Konzepte zur Dekontamination entwickelt, so z. B. das Technische Hilfswerk, der Hilfszug des DRK und die Bundespolizei. Eine Abstimmung untereinander findet dabei nicht immer in dem Rahmen statt, der für eine effiziente Zusammenarbeit erforderlich wäre.

Für die besonders komplexe Aufgabe der Dekontamination von Verletzten und/oder größeren Personengruppen liegen inzwischen verschiedene Konzepte vor, die auf den entsprechenden Ebenen diskutiert und zum Teil bereits umgesetzt werden. Einige dieser Konzepte sehen für die drei Gefahrenarten (A, B und C) unterschiedliche Strukturen (Kontaminationsnachweisplatz für A, Desinfektionsplatz für B und Dekontaminationsplatz für C) sowie spezielle Strukturen für die Verletzten-Dekon vor, inklusive verschiedener Schutzkleidungen. Ferner werden verschiedenste Dekon- und Desinfektionsmittel zur Anwendung empfohlen. Die Konzepte erfordern zum Teil mehrere Dutzend Helfer diverser Fachdienste (ABC-Abwehr, Sanitätsdienst, Ärzte, Sicherheitskräfte) mit spezieller ABC-Dekonausbildung und Unterweisungen im Tragen von spezieller persönlicher Schutzausrüstung. Das zeitgleiche Auftreten von verschiedenen Gefahrenarten (z. B. A mit B) wird nur von wenigen Konzepten berücksichtigt.

## Die vfdb-Richtlinie 10/04

Im Jahr 1996 gab das Referat 10 – Umweltschutz – der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes mit der Richtlinie 10/04 „Dekontamination bei Feuerwehreinsätzen mit gefährlichen Stoffen und Gütern“ erstmals detaillierte Hinweise zur Durchführung von Dekonmaßnahmen verschiedenen Umfangs bei den Feuerwehren heraus. Die technischen und taktischen Empfehlungen der vfdb-RL 10/04 wurden fast vollständig in die FwDV 500 „Einheiten im ABC-Einsatz“ übernommen. Die mehrjährige Erfahrung mit der RL 10/04, die wiederentdeckten „neuen Bedrohungen“ des Terrorismus und der Bedarf an Vorgaben für Dekoneinsätze oberhalb des Standard-ABC-Einsatzes führten zu dem Entschluss, die RL 10/04 grundlegend zu überarbeiten und neu herauszugeben.

Folgende inhaltliche Aspekte der Richtlinie sind besonders zu erwähnen:

### *Dekon-Stufen und Dekon-Verfahren*

In der vfdb-Richtlinie werden drei Dekon-Stufen unterschieden:

**Stufe 1** – Not-Dekon: Sie muss an allen Einsatzstellen jederzeit mit dem Standard-Einsatzmaterial der Feuerwehren gewährleistet werden können und ist insbesondere für unvorhersehbare ABC-Gefahren gedacht, um die Zeit bis zum Aufbau einer Standard-Dekontamination zu überbrücken.

**Stufe 2** – Standard-Grobreinigung: Die Dekon-Stufe 2 stellt das allgemein übliche Dekon-Vorgehen bei allen ABC-Einsätzen der Feuerwehren dar. Diese Stufe muss spätestens 15 Minuten nach dem Vorgehen der ersten Kräfte in den Gefahrenbereich zur Verfügung stehen. Eine Not-Dekon (Stufe 1) muss ab Einsatzbeginn möglich sein.

**Stufe 3** – Erweiterte Dekontamination. In die Stufe 3 fallen alle Dekon-Maßnahmen, die wegen ihres technischen Aufwands oder ihres Umfangs über die Standard-Vorgehensweise (Stufe 2) hinausgehen. Dies ist insbesondere bei der Anwendung spezieller Dekon-Verfahren, bei einer großen Zahl Betroffener oder bei der Nutzung ortsfester Dekon-Einrichtungen der Fall. Als Dekon-Verfahren sind in der RL 10/04 die Nassdekontamination (Anwendung flüssiger Dekon-Mittel), die Trockendekontamination (Abwischen, Abtupfen,

ggf. Trockenbindemittel) und die Spot-Dekontamination (Teilkörperdekontamination von Verletzten zur Durchführung lebensrettender Sofortmaßnahmen) beschrieben.

### *Einheitlicher Dekon-Platz für A-, B- und C-Einsätze*

Die Konzeption verschiedener Dekon-Plätze für unterschiedliche Gefahrenarten löst nicht das Problem der Mehrfachkontamination und erzeugt einen erheblichen Aus- und Fortbildungsaufwand. In der RL 10/04 wird daher ein modular aufgebauter Dekon-Platz beschrieben, an dem Mehrfachkontaminationen in allen Variationen versorgt werden können. Mehrfachkontaminationen können zum Beispiel bei Einsätzen in mikrobiologischen Labors auftreten. Wie in jedem Labor muss hier mit chemischen Gefahrstoffen gerechnet werden. Ferner sind die Mikroorganismen nicht selten radioaktiv markiert, sodass zugleich chemische, biologische und radioaktive Gefahrenquellen vorhanden sein können.

Am komplett aufgebauten Dekon-Platz werden zunächst biologische Kontaminationen durch das Aufbringen von Desinfektionsmittel inaktiviert. Anschließend erfolgt die Entfernung chemischer Kontaminationen (ggf. einschließlich des Desinfektionsmittels). Den Abschluss bildet der Nachweis eventueller radioaktiver Kontaminationen. Ein erheblicher Unterschied zu bisherigen Verfahren ist die Desinfektion und Nassdekontamination vor der Kontrolle auf radioaktive Verschmutzungen. Dies erfordert einen äußerst sparsamen und bedachten Umgang mit den flüssigen Einsatzmitteln, um die Menge ggf. entstehenden radioaktiven Abwassers von vornherein möglichst gering zu halten.

Die räumliche Gliederung von Dekon-Plätzen erfolgt in Deutschland zurzeit entweder in zwei Bereiche (schwarz/weiß) oder in drei Bereiche (rot/gelb/grün). Die einzelnen Aufgaben am Dekon-Platz können den jeweiligen Bereichen zugewiesen werden (Abb. 24).

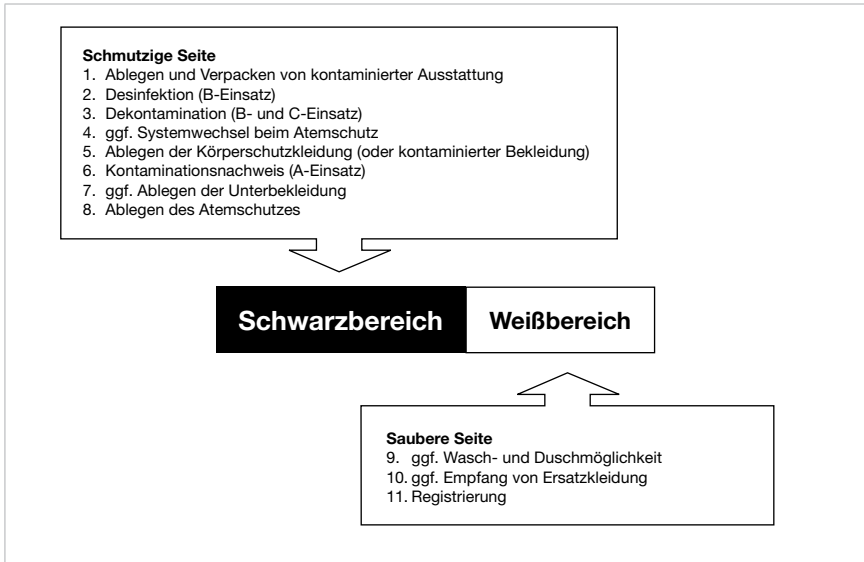


Abb. 24: Beispiel zur Gliederung und Aufgabenverteilung am Dekon-Platz (hier aufgeteilt in Schwarz- und Weißbereich)

Der modulare Aufbau des Dekon-Platzes erleichtert die Ausbildung und ermöglicht die Zusammenarbeit verschiedener Einheiten. Ein gutes Beispiel hierfür ist das Dekon-Konzept Rhein-Main. Verschiedene Feuerwehren aus der Rhein-Main-Region haben sich auf gleiche Organisationsformen und technische Grundstrukturen ihrer Dekon-Plätze geeinigt. Jeder Dekon-Platz hat dieselbe Gliederung. Die einzelnen Module sind technisch zwischen den einzelnen Einheiten verschieden, beinhalten aber dieselben Maßnahmen und Funktionalitäten. Eine Zusammenarbeit ist somit problemlos möglich.

Bezüglich des Personalansatzes muss bei kombinierten A-, B- und C-Gefahren die in der FwDV 500 beschriebene „Dekon-Staffel“ zur „Dekon-Gruppe“ erweitert werden, da mit sechs Helfern die Darstellung eines kompletten Dekon-Platzes für alle drei Gefahrenarten nicht sinnvoll möglich ist. Ferner muss bei der technischen Umsetzung der Dekon-Stufe 2 zwischen einer behelfsmäßigen Darstellung (Grundlage sind hier Mannschaft und Beladung eines Lösch-

fahrzeuges) und dem vollständigen Aufbau (auf der Grundlage von Sonderausstattung spezieller Einheiten) unterschieden werden.

### *Wasser bzw. Polyethylenglykol 400 als Standard-Dekonmittel*

Wasser ist nach wie vor das am häufigsten angewandte Dekon-Mittel. Zur Verbesserung der Reinigungswirkung kann es erwärmt und mit Tensiden versetzt werden. Für saure Kontaminationen können leicht basische Zusätze verwendet werden, während sich alkalische Verschmutzungen besser mit leicht sauren Zusätzen entfernen lassen. Für hydrophobe (Wasser abweisende) Kontaminationen sollte Polyethylenglykol 400 als vielseitiges Reinigungsmittel Verwendung finden.

### *Peressigsäure als Standard-Desinfektionsmittel*

Auch wenn es bezüglich der Wirksamkeit gegenüber Sporen bildender Bakterien derzeit noch offene Fragen gibt, haben sich Produkte mit alkalischer Peressigsäure inzwischen als geeignete Desinfektionsmittel für die Vorhaltung bei den Feuerwehren erwiesen. Da die Feuerwehren das im einzelnen Einsatzfall vorliegende biologische Risiko vorher nicht kennen, sind sie auf ein möglichst breit wirkendes Produkt, das einfach zu handhaben und möglichst lange lagerfähig ist, angewiesen. Peressigsäure erfüllt diese Anforderungen derzeit am besten. Diese Erkenntnis stammt im Wesentlichen aus den Arbeiten im interdisziplinären Expertennetzwerk ([www.bevoelkerungsschutz.de](http://www.bevoelkerungsschutz.de)).

### *Detaillierte Ausrüstungsvorschläge*

Bei vielen Feuerwehren gibt es nach wie vor Bedarf an sehr konkreten Empfehlungen zur technischen Umsetzung der FwDV 500. Die Entwicklung eigener Konzepte scheitert in der Fläche oft an der mangelnden Zugänglichkeit von Fachinformationen und/oder an fehlenden personellen Ressourcen. In der RL 10/04 sind daher für alle Dekon-Stufen ausführliche Ausstattungsempfehlungen enthalten. Vorhandene Standards wie die Beladung des genormten Gerätewagens Gefahrgut und die Dekon-P-Ausstattung des Bundes wurden berücksichtigt. Gerade die letztgenannte Komponente muss jedoch weitreichend

ergänzt werden, um in einen für die Darstellung der Dekon-Stufen 2 und 3 einsatzbereiten Zustand gebracht zu werden.

### ***Hinweise zu Maßnahmen bei kontaminierten Verletzten***

Das Vorgehen bei der Dekontamination von Verletzten ist Gegenstand zahlreicher Diskussionen und Forschungsarbeiten. In der RL 10/04 sind bisher hierzu nur Rahmenempfehlungen enthalten. Eine Bund-Länder-Arbeitsgruppe hat zwischenzeitlich ein abgestimmtes Konzept zur Verletzten-Dekon erarbeitet, das in die nächste Fassung der Richtlinie Eingang finden wird.

### ***Hinweise zu größeren Schadenereignissen***

Aufgrund der derzeit vorhandenen Verteilung der speziellen Dekon-Ressourcen (z. B. Dekon-LKW P oder Dekon-Anlagen der Bundespolizei) ist abzusehen, dass eine zeitgerechte Bereitstellung dieser Spezialressourcen bei Ereignissen mit zahlreichen Betroffenen derzeit an keiner Stelle des Bundesgebietes möglich ist. Eine wirksame „Massen-Dekon“ kann nur gelingen, wenn die Maßnahmen auf die flächendeckend vorhandene Basisausstattung der Feuerwehren, die Löschfahrzeuge, abgestimmt sind. In der Richtlinie wird ein Verfahren vorgestellt, bei dem von zwei Löschfahrzeugen eine Art „Wassergasse“ gebildet wird, durch die in kurzer Zeit eine große Zahl von Personen nach dem Ablegen der Oberbekleidung hindurchgeschleust werden kann (Abb. 25). Offen ist derzeit noch die Frage, was auf der „reinen“ Seite dieser Anordnung mit den Personen geschieht. Hier müssen Schnittstellen zum Sanitäts- und Betreuungsdienst geschaffen werden. Aber auch mit den Sicherheitsorganen müssen derartige Konzepte abgestimmt sein, da nicht von vornherein mit einem kooperativen Verhalten der Betroffenen gerechnet werden kann.



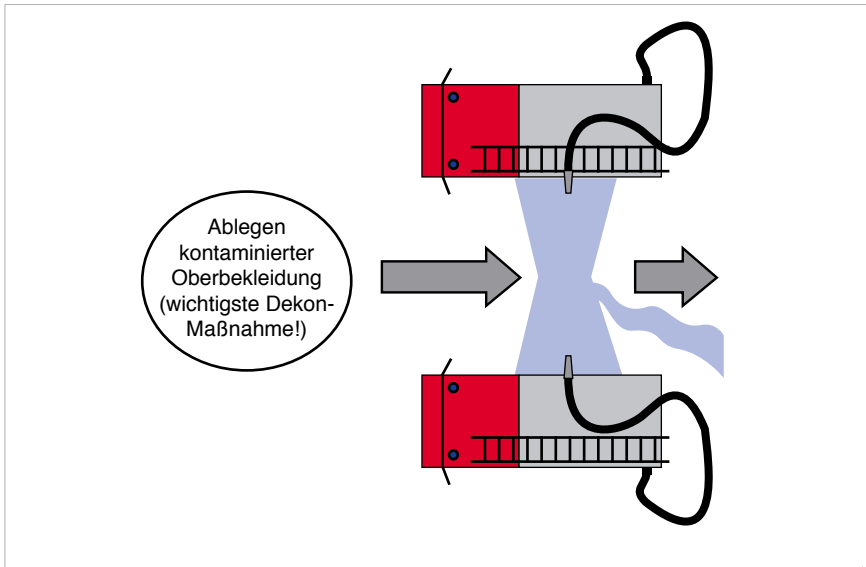


Abb. 25: Behelfs-Dekontamination mit Löschfahrzeugen

### Wo gibt es noch Probleme?

Auch wenn die vfdb-Richtlinie 10/04 zu vielen Aspekten des Aufgabenbereichs Dekontamination eindeutige und ausführliche Empfehlungen gibt, sind doch immer noch viele Fragen offen. Probleme bestehen derzeit vor allem noch in folgenden Bereichen:

#### *B-Dekon / Desinfektion*

Einsätze in Verbindung mit biologischen Gefahren (B-Einsätze) spielten lange Zeit für die Feuerwehren keine Rolle. Auch heute stellt diese Problematik innerhalb des Sonderbereiches „ABC-Einsatz“ ein absolutes Nischenthema dar. Die flächige Sensibilisierung der Feuerwehren durch die zahlreichen „Milzbrandalarne“ im Jahr 2002 ist zwischenzeitlich wieder abgeflaut. Die damals beschaffte Ausstattung ist größtenteils wieder verschwunden

oder wegen fehlender Fortbildung nicht mehr gezielt anwendbar.<sup>1</sup> Eine Auseinandersetzung mit diesem Themenbereich findet bei den Feuerwehren nur anlassbezogen – z. B. im Zusammenhang mit Tierseuchen – und lokal begrenzt statt. Von fachlicher Seite fehlen nach wie vor geeignete Aussagen zur Anwendung geeigneter Desinfektionsmittel durch Feuerwehrpersonal ohne einschlägige Fachkunde und zur Schutzausrüstung. Auch die Abstimmung der Feuerwehrausbildung mit den Lehrinhalten des Rettungsdienstes muss deutlich verbessert werden, um abweichende oder gar widersprüchliche Antworten auf dieselben Fragen zu vermeiden.

### *Dekontamination von Verletzten*

Das Hauptproblem bei der Dekontamination von Verletzten sind die chemischen Gefahrstoffe (einschließlich der Kampfstoffe), da hier das kleinste Zeitfenster für die Maßnahme zur Verfügung steht. Aufgrund fehlender Ausstattung ist eine sachgerechte Verletzten-Dekon derzeit von den Feuerwehren in den meisten Fällen nicht durchführbar. Die Entwicklung einheitlicher Verfahren steht nach wie vor aus, die Umsetzung des Bündler-Konzeptes hat in der Fläche gerade erst begonnen. Bereits vorliegende Konzepte sind zwar theoretisch durchführbar, gehen aber im Bereich des Personalansatzes von qualitativen und quantitativen Rahmenbedingungen aus, die in Deutschland nicht im Ansatz vorhanden sind und – nicht zuletzt vor dem Hintergrund der dramatisch sinkenden Personalstärken in den ehrenamtlichen Einheiten – auch niemals erreichbar sein werden.

Die Ausbildung des (nicht-feuerwehreigenen) Rettungsdienstpersonals in Belangen des ABC-Schutzes ist allenfalls rudimentär. Der Rettungsdienst verfügt in der Regel zudem nicht über geeignete persönliche Schutzausrüstung bzw. die zu ihrer Benutzung erforderlichen Ausbildung für den Transport grob dekontaminierter Personen in Rettungsmitteln und zur Übergabe und Weiterbehandlung in den Krankenhäusern fehlen geeignete Konzepte. Auch die Konfrontation mit kontaminierten Personen, die eigenständig die Krankenhäuser aufsuchen, wird in der Regel nicht in die Notfallplanung der Kliniken einbezogen. Hier sind viele andere Staaten Deutschland erheblich voraus.

---

1 Bemerkung: Ein ähnliches Schicksal droht derzeit den anlässlich der FIFA-WM 2006 mit großem Aufwand und Engagement entwickelten Dekon-Konzepten.

### *Einheitliche Ausbildung*

Es existieren derzeit keine einheitlichen detaillierten Curricula für die ABC-Ausbildung der Feuerwehren. Es ist daher davon auszugehen, dass sowohl die Gefahrenabwehr selber, insbesondere aber auch die Dekontamination, bei jeder Feuerwehr anders gehandhabt werden. Die Fachausbildung anderer Organisationen (THW, Bundespolizei) ist oft an das Vorgehen einzelner Feuerwehren oder der Bundeswehr angelehnt, eine Einheitlichkeit ist aber wegen der standortbezogenen Besonderheiten auch bei diesen Bundesorganisationen derzeit nicht zu erkennen. Aufgrund der unterschiedlichen technischen und taktischen Konzepte und der zum Teil deutlich verschiedenen Begrifflichkeiten für dieselben Dinge ist eine interkommunale Zusammenarbeit der Feuerwehren oder ein gemeinsamer Einsatz mit anderen (THW, BPol, Bundeswehr) derzeit nur unter äußerst ungünstigen Bedingungen möglich. Allein schon, wenn Kräfte einer Feuerwehr von Kräften einer anderen Feuerwehr dekontaminiert werden sollen, wird es vermutlich am Dekon-Platz zu erheblichem Abstimmungsbedarf kommen.

### *Dekontamination größerer Personengruppen*

Konzepte zur schnellen Grobdekontamination großer Personengruppen durch einfachste Mittel (Ablegen der Kleidung, Abduschen mit Wasser) liegen inzwischen vor. Wie bereits erwähnt, ist derzeit aber noch die Frage offen, was auf der „reinen“ Seite dieser Anordnung mit den Personen geschieht. Ebenso wie das Dekon-Konzept des Bundes enden die Vorschläge im Moment im Prinzip damit, dass zahlreiche Betroffene unbekleidet im Freien stehen. Hier müssen Schnittstellen zum Sanitäts- und Betreuungsdienst geschaffen werden, um die Versorgung mit Ersatzkleidung (Lagerung? Logistik?), die sanitätsdienstliche Betreuung und die Registrierung und Weiterleitung in Betreuungsstellen sicherzustellen. Aber auch mit den Sicherheitsorganen müssen derartige Konzepte abgestimmt sein, da nicht von vornherein mit einem kooperativen Verhalten aller Betroffenen gerechnet werden kann. Insbesondere bei chemischen Kontaminationen, deren Wirkung Betroffene in vielen Fällen bereits unmittelbar nach der Exposition körperlich spüren, dürfte jegliche Wartezeit vor der Dekontamination in keiner Weise toleriert werden. Für die Erarbeitung entsprechender Konzepte sind jedoch einheitliche Szenarien erforderlich, auf deren Grundlage alle Beteiligten planen können.

Solche Rahmenvorgaben werden derzeit politisch erschwert, was eine sinnvolle Gefahrenabwehrplanung schwierig oder gar unmöglich macht.

### ***Dekontamination / Desinfektion von Geräten u. Fahrzeugen***

Die Entwicklung eines Nachfolgekonzeptes für die Geräte- und Fahrzeugdekontamination seitens des Bundes steht nach wie vor aus. Auch gibt es keine offiziellen, bundeseinheitlichen Empfehlungen für geeignete Dekon-Mittel. Die bisher verwendeten Substanzen (z. B. Hypochlorit) sind in den Einheiten nicht mehr verfügbar. Eine zeitnahe Zugriff auf noch vorhandene zentrale Lagerstätten ist logistisch nicht geplant. Zur Dekontamination bzw. Desinfektion von Fahrzeuginnenräumen gibt es keine Aussagen, so dass die Wirksamkeit der Maßnahmen bei Tierseuchen zumindest kritisch hinterfragt werden können. Erfahrungen aus Tierseucheneinsätzen der letzten Jahre haben gezeigt, dass es noch erheblichen Regelungsbedarf in Fragen der Zuständigkeit, der Aufgabenabgrenzung, der Haftung bei entstehenden Sach- oder Personenschäden und der Abstimmung mit Sicherheits- und Ordnungsbehörden gibt.

### **Abschließende Bewertung**

Die Dekontamination im täglichen ABC-Einsatz ist in Deutschland auf Ebene der örtlichen Feuerwehren grundsätzlich gewährleistet. Es gibt Verbesserungsbedarf im B-Bereich, bei der Bekämpfung kombinierter ABC-Gefahrenlagen und bei der ständigen Sicherherstellung einer Not-Dekon durch jede Feuerwehreinheit.

Sobald bei größeren Schadenslagen eine überörtliche Zusammenarbeit erforderlich wird, stößt das System „ABC-Dekontamination“ schnell an seine Grenzen. Im Vorfeld der Fußballweltmeisterschaft 2006 wurde immer wieder von ABC-Risiken gesprochen, denen durch eine entsprechend bemessene Vorhaltung begegnet werden musste. Aufgrund von fehlenden bundesweit abgestimmten Szenarien mussten zwangsläufig auf der Grundlage allgemeiner Absprachen für jeden Spielort individuelle Lösungen gefunden werden.

Die allgemeine Notwendigkeit der Zusammenarbeit von Dekon-Spezialeinheiten bei größeren Ereignissen führt jedoch unweigerlich zu der Forderung,

diesen Aufgabenbereich schnellstmöglich flächendeckend in einen einsatzbereiten und vor allem kooperationsfähigen Zustand zu versetzen. Aufgrund seiner bundesweiten Regelungskompetenz ist hier vornehmlich der Bund angesprochen. Er muss für seine einheitliche Dekon-Ausstattung entsprechendes Ergänzungsmaterial zur Verfügung stellen, vor allem aber müssen bundeseinheitliche taktische Handlungsanweisungen herausgegeben werden. Konzepte, die zur WM 2006 entwickelt wurden, können die Basis dieser Überlegungen sein, sie müssen jedoch verallgemeinert und von den örtlichen Besonderheiten der Spielstädte und den personellen und finanziellen Rahmenbedingungen des „Weltereignisses WM 2006“ unabhängig werden, da sonst die Einsatzbereitschaft der ABC-Gefahrenabwehr für größere Ereignisse in der Fläche nach wie vor nicht gewährleistet sein wird.

## Literaturhinweise

(2006). Dekontamination Verletzter. Zeitschrift Bevölkerungsschutz.

BRÄUTIGAM, A. (2006). „Dekontamination im ABC-Einsatz“. BRANDSchutz-DFZ, 607 ff.

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2006) Rahmenkonzept zur Dekontamination verletzter Personen, Endfassung September 2006.

Ausschuss Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung im AK V der Innenministerkonferenz (2004). Feuerwehr-Dienstvorschrift 500, Einheiten im ABC-Einsatz.

PETTER, F. (2006). „Massenanfall von kontaminierten Personen“. BRANDSchutz-DFZ, 16 ff.

PFENNINGER, E. & HAUBER, D. (2001). „Medizinische Versorgung beim Massenanfall Verletzter beim Chemikalienfreisetzung“. Zivilschutz-Forschung, Bundesamt für Bevölkerungsschutz.

SCHÄUBLE, W. & ALTHEIM, C. (2006). „Universelle Einsatztaktik bei atomaren, biologischen und chemischen Gefahren“. BRANDSchutz-DFZ, 320 ff.

STEFFLER, R. & ET.AL. (2003). „Peressigsäure - Ein Desinfektionsmittel für den Katastrophenschutz im außergewöhnlichen Seuchenfall“. Bevölkerungsschutz, 24 ff.

Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. , Technisch-Wissenschaftlicher Beirat (2002) vfdb-Richtlinie 10/02 - Feuerwehr im B-Einsatz, VdS-Verlag.

Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. , Technisch-Wissenschaftlicher Beirat (2004) vfdb-Richtlinie 10/04 - Dekontamination bei Einsätzen mit ABC-Gefahren, VdS-Verlag.

### **4.3 Desinfektion von persönlicher Schutzausrüstung (PSA) der Hilfsorganisationen bei besonderen B-Lagen: Probleme und deren Lösungsmöglichkeiten**

*Reinhard Steffler*

#### **Probleme**

Es sind keine wissenschaftlichen oder gar amtlichen Empfehlungen vorhanden, wo und wie die PSA zu desinfizieren ist. Alle bisherigen Empfehlungen sind nur aus den Bereichen der Human-, Veterinär- oder Militärmedizin abgeleitet.

Sie sind das Resultat umfangreicher Literaturstudien, besonders aus verschiedenen Bereichen der Medizin.

#### **Forderungen an ein Desinfektionsmittel für die Desinfektion von PSA für operative Einheiten**

- sehr schnelle Wirksamkeit des Desinfektionsmittels
- wirksam auch im unteren Temperaturbereich und bei verschiedenen Witterungsbedingungen
- gute Umwelt- und Materialverträglichkeit
- umfangreich gelistet
- lange Lagerfähigkeit
- für verschiedene Anwendungen geeignet
- Wirksamkeit auf unterschiedlichen Schutzanzugmaterialien
- Wirksamkeit gegenüber einem breiten Spektrum von Erregern

Welches Desinfektionsmittel ist es:

- Nach umfangreichen Recherchen ist die Peressigsäure (PES) bisher das Mittel, welches den oben genannten Punkten am nächsten kommt.

## **Vor- und Nachteile der PES im kurzen Überblick:**

### **Vorteile:**

- sehr schnelle Wirksamkeit gegenüber Erregern der Wirkbereiche (gemäß Definition der Desinfektionsmittelliste des Robert Koch-Instituts) A bis D
- das Desinfektionsmittel mit dem geringsten Temperaturfehler
- sehr vielseitig verwendbar
- es gibt eine PES, nach Arzneimittelgesetz zugelassen für die Händedesinfektion: Wofasteril® (gemäß Desinfektionsmittelliste des Robert Koch-Instituts)
- in der gleichen Konzentration und Einwirkungszeit wie für die Händedesinfektion vorgeschrieben wirksam gegenüber bakteriellen Toxinen
- kann alkalisiert werden, ohne dass deren Wirkung grundsätzlich nachlässt
- in allen Desinfektionsmittellisten gelistet
- in der Richtlinie zur Tierseuchenbekämpfung enthalten (1997)
- umfangreiche Prüfungen der Peressigsäure auf dem Gebiet der Human-, Veterinär- und Militärmedizin
- sehr umweltfreundlich

### **Nachteile:**

- unwirksam auf verrosteten Flächen
- Blutfehler (kein Serumfehler)
- schon in geringer Konzentration stark stechender Geruch
- korrosive Wirkung gegenüber unedlen Metallen
- Gebrauchslösungen müssen immer frisch angesetzt werden, da die Lösung relativ rasch zerfällt
- alkalisierte Peressigsäure muss innerhalb von zwei Stunden verbraucht werden. Danach wird die PES rasch neutralisiert.

### **Besonderheiten der alkalisierten Peressigsäure:**

- greift unedle Metalle nicht an und riecht nicht
- ist bereits umfangreich gelistet
- kann im Luftschaumverfahren aufgetragen werden
- kann zur Abwasserdesinfektion nach dem Vorfluter eingesetzt werden.



## Dekontamination von PSA

Die Dekontamination von PSA aus flüssigkeitsdichtem Material am Beispiel der Feuerwehr Leipzig nach den so genannten Milzbrandeinsätzen:

Bevor die eigentliche Dekontamination beginnt, tritt der zu Dekontaminierende in einen großen Foliensack, der nach unten gerollt ist. Der Träger des Schutzanzuges wird mittels Sprüh- bzw. Wischdesinfektion mit einer einprozentigen PES-Gebrauchslösung durch einen Dekontrupp desinfiziert. Die Einwirkungszeit beträgt längstens fünf Minuten.

Der Dekontrupp trägt einen Einwegoverall und Atemschutzmaske mit entsprechendem Filter. Beim Ablegen des Schutzanzuges beginnt der Dekontrupp mit der Desinfektion von oben nach unten. Dabei werden eventuelle Verschmutzungen mechanisch entfernt. Anschließend unterstützt der Dekontrupp den Träger des nun dekontaminierten Schutzanzuges beim Öffnen und Ablegen des Anzuges. Dabei ist darauf zu achten, dass der Innenbereich des Schutzanzuges bzw. die Sachen, die unter ihm getragen werden, beim Ablegen von der Außenseite her nicht kontaminiert werden.

Zum Schluss wird der Atemanschluss abgelegt. Anschließend tritt der Träger aus den Stiefeln bzw. Füßlingen (je nach Anzug) nach hinten aus dem Foliensack. Der Dekontrupp schließt den Sack dicht und führt diesen der Aufbereitung zu. Die Aufbereitung erfolgt dann im Desinfektionsstützpunkt der Hauptfeuerwache.

Grundsätzlich wurden bei uns die Einmalschutzanzüge nicht von hinten aufgeschnitten, so dass weitestgehend unabhängig von den zu tragenden Schutzanzügen die gleiche Vorgehensweise galt, wie beim Ablegen von so genannten Mehrwegschutzanzügen. In allen Fällen wurde immer der Atemschutz zuletzt abgelegt.

Bei dieser Verfahrensweise besteht der Vorteil darin, dass die aufgebrachte einprozentige Peressigsäurelösung nicht so schnell verdunstet. Das heißt, dass die Desinfektionsmittellösung länger wirkt, als wenn der Schutzanzug nur eingesprüht und anschließend zum Trocknen weggegangen worden wäre. Dieses Vorgehen wird solange aufrecht erhalten, bis wissenschaftlich fundierte Daten zur wirksamen Desinfektion der PSA vorliegen.

Angesichts neuer Untersuchungen über die Wirkung von wässriger und alkoholischer Peressigsäurelösungen gegenüber Milzbrandsporen unter Laborbedingungen mit hohen Erregerkonzentrationen erwies sich diese Vorgehensweise als richtig. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen aber auch, wie wichtig es ist, mit praxisnahen Untersuchungen über die Wirksamkeit von Desinfektionsmitteln gegenüber Schutzausrüstungen zu beginnen.

### **Wäschedesinfektion**

Für die Wäschedesinfektion im Katastrophenschutz spielt die chemische Desinfektion eine große Rolle. Sie ist umfangreich mit unterschiedlichen Desinfektionsmitteln in der RKI-Desinfektionsmittelliste gelistet und auch unter Raumtemperaturbedingungen wegen ihrer apparativen anspruchslosigkeit durchführbar.

Leider sind auch hier alle chemischen Desinfektionsverfahren nur für die Wirkungsbereiche A und AB (Bakterien, Pilze, Pilzsporen und Viren) gelistet.

So steht uns bisher kein chemisches Desinfektionsverfahren zur Verfügung, welches auf die Wirkung gegen bakterielle Sporen getestet wurde. Die PES ist zwar auf diesem Gebiet wissenschaftlich getestet und für gut befunden worden, aber Untersuchungen über ihre Wirksamkeit unter standardisierten Bedingungen sind trotzdem immer noch notwendig.

Textilien wurden bei uns in einer einprozentigen Peressigsäurelösung bei einer Einwirkungszeit von zwölf Stunden eingelegt. Damit haben wir uns an die Vorgaben der RKI-Liste gehalten. Dabei handelte es sich um textile Wäsche der Rettungsorganisationen bzw. getragener textiler Einweganzüge und gelegentlich Feuerwehr-Einsatzsachen. In den meisten Fällen gab es optisch keine Schäden. Nur gelegentlich kam es bei den Metallteilen an der Wäsche zu den erwarteten verstärkten Rosterscheinungen. Auch gab es einige Verfärbungen.

Rosterscheinungen konnten stark minimiert werden, indem man die Wäsche nach der Desinfektion gut spülte und anschließend die Metallflächen mit alkalischem Reiniger behandelte.

Aber auch bei den anderen gelisteten chemischen Desinfektionsmitteln kann es zur Verfärbung bei der Wäsche kommen, insbesondere bei weißer Wäsche. Dies wurde gar nicht so selten bei Wäsche, die im Rettungsdienst verwendet wurde, beobachtet. Rote bzw. orange Wäsche wurde dagegen kaum verfärbt. Leider ist es aufgrund der Vielzahl von Anbietern der Rettungsdienstwäsche und der Desinfektionsmittelhersteller bisher nicht möglich, genau festzustellen, welche Wäsche die chemische Desinfektion ohne Verfärbungen übersteht.

Deshalb sollte, wie im außergewöhnlichen Seuchenfall, auch im normalen Rettungsdienst schon bei Verdacht auf eine Infektionskrankheit ein Einmalanzug getragen werden.

### **Peressigsäuren (PES)**

Bei der Verwendung von Peressigsäure für die Desinfektion empfiehlt es sich ein Produkt zu verwenden, das als ein Desinfektionsmittel (z. B. Wofasteril®) umfangreich gelistet ist. Auch sollte es für die Händedesinfektion geeignet sein.

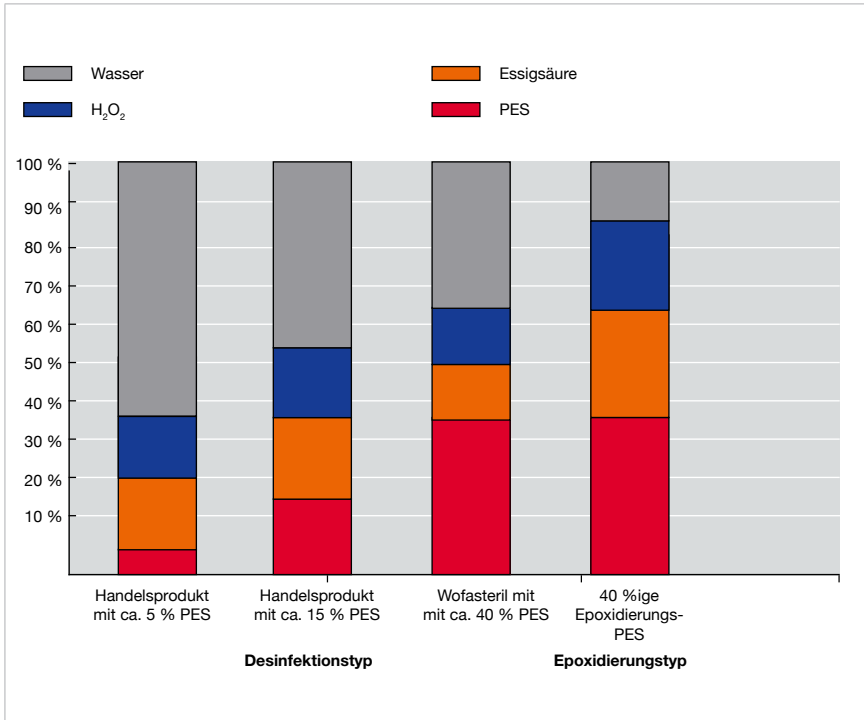


Abb. 26: Zusammensetzung verschiedener Peressigsäureprodukte (nach Schreiner et al., 1999)

Für die Einheiten, die im Katastrophenschutz mit Desinfektionsaufgaben betraut sind, ist das sehr wichtig, da teilweise auch in der Fachliteratur behauptet wird, dass die Peressigsäure sehr gefährlich sei. Dies ist oberflächlich betrachtet auch gar nicht falsch, aber in der Sache nicht richtig, da eine Peressigsäure, die als Desinfektionsmittel Anwendung findet, eben diese gefährlichen Eigenschaften nicht besitzt.

Peressigsäuren, die als Desinfektionsmittel ausgewiesen sind, sind nicht explosiv. Es gibt ein Desinfektionsmittel (Wofasteril<sup>®</sup>), das auf der Wirkstoffbasis von 40 G/V-prozentiger PES (40g/100 ml) beruht. Dieses Desinfektionsmittel

darf nicht mit einer in der chemischen Industrie verwendeten Epoxidierungs-Peressigsäure verwechselt werden. Diese sind aufgrund ihres hohen Gehaltes an Essigsäure und des relativ geringen Wasser- und Wasserstoffperoxidanteils im chemischen Gleichgewicht bei katalytischem Zerfall tatsächlich explosionsfähig.

Der Verfasser besitzt ein umfangreiches Archiv über die Peressigsäure und andere Desinfektionsmittel (ARST/Des). Bei tiefgründigerer Beschäftigung mit diesem Thema kann die Literatur beim Verfasser erfragt werden.

## Literaturhinweise

„Richtlinie des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten über Mittel und Verfahren für die Desinfektion bei anzeigepflichtigen Tierseuchen“ (1997). Bundesgesundheitsbl.

„12 Desinfektionsmittelliste der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft (DVG) für die Tierhaltung“. (1-5-2003a).

„6 Desinfektionsmittelliste der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft (DVG) für den Lebensmittelbereich“. (1-7-2003b).

Bescheid BfArM vom 17.11.2005, Zul.-Nr.: 300014.00.00. (17-11-2005a).

„Handbuch Biologische Gefahren“ (2005b). (vols. 2. Auflage) BBK.  
VAH Liste (Desinfektionsmittel-Liste des Verbundes für Angewandte Hygiene). (1-1-2006).

FLEMMING, H.-C. (2007). „Die Peressigsäure als Desinfektionsmittel“. Zbl.Bakt. Hyg., 1 Abt.Org.B., 179, 97-111.

MÜCKE, H. (1985). „Zur Anwendung der Peressigsäure. Zeitschrift ärztliche Fortbildung“, 79.

NATTERMANN, H., BECKER, S., JACOB, D., KLEE, S.R., Schwebke, I., APPEL, B. (2005): Effiziente Abtötung von Milzbrandsporen durch wässrige und alkoholische Peressigsäure-Lösungen: Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz, 48, 939-950.

Robert Koch-Institut (2002). Liste der vom Robert Koch-Institut geprüften und anerkannten Desinfektionsmittel und -verfahren. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz, 14. Ausgabe, 72-95.

SCHAU, H.-P. (1977). „Untersuchungen zur Inaktivierung von Bakterientoxinen durch Peressigsäure“. In Vorträge des IV Kongress über Sterilisatoren, Desinfektion und Antiseptik in Dresden Winkler, H.; Kramer, A; Wigert, H.; Johann.

SCHREINER, G., BUBE, I.: Peressigsäure. Vorzüge und Eigenschaften eines Desinfektionswirkstoffes. Flüssiges Obst, 66, 4, 183-188.

SPRÖSSIG, M. (1989). Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten der Peressigsäure – 25 Jahre Erfahrung und Entwicklung. Hygiene und Medizin, 14, 498–501.

STEFFLER, R. et al. (2003). Peressigsäure – Ein Desinfektionsmittel für den Katastrophenschutz im außergewöhnlichen Seuchenfall. Bevölkerungsschutz, 24 ff.





## 4.4 Verfahren zur Desinfektion von Räumen mit Formaldehyd und anderen Wirkstoffen

*Bärbel Niederwöhrmeier*

### Zusammenfassung

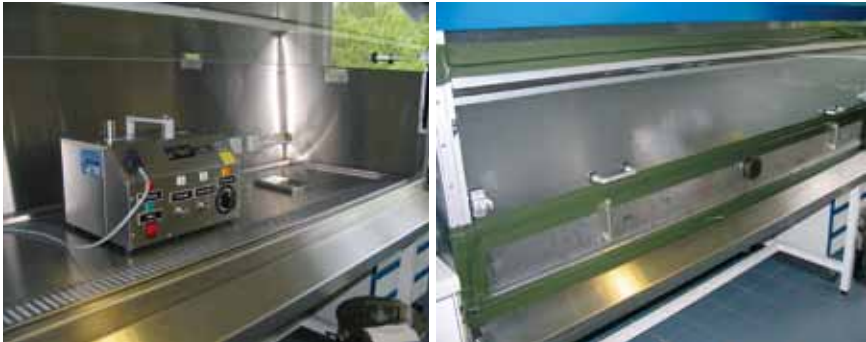
Besonders vor dem Hintergrund eines Seuchengeschehens oder eines bioterroristischen Szenarios besteht der Bedarf an schonenden Desinfektionsverfahren für u. a. Gebäude, Transport- und Luftfahrzeuge. Im Folgenden werden alternative Verfahren und Untersuchungsergebnisse zur Raum- und Oberflächen-desinfektion mit Formaldehyd vorgestellt.

Für die Bekämpfung von Infektionskrankheiten und aktuell durch die anerkannte B-Bedrohung, d. h. auch bei Kontaminationsproblemen z. B. auf Oberflächen und in Räumen, wächst die Frage nach effektiven und umweltfreundlichen Desinfektionsmitteln und -verfahren. Besonders vor dem Hintergrund eines Seuchengeschehens oder eines bioterroristischen Szenarios besteht der Bedarf an schonenden Desinfektionsverfahren für u. a. Gebäude, Transport- und Luftfahrzeuge.

Für die **Raumdesinfektion** ist gemäß der Liste der vom Robert Koch-Institut geprüften und anerkannten Desinfektionsmittel und -verfahren zurzeit nur die Verdampfung oder Vernebelung von verdünnten Formaldehyd-Lösungen mit anschließender Neutralisation vorgesehen (Abb. 27).

Für die Durchführung von Raumdesinfektionen mit Formaldehyd sind die Technischen Regeln für Gefahrstoffe TRGS 522, 512, 513, 523 zugrunde zu legen. Sie enthalten Angaben über die personellen Voraussetzungen zur Durchführung von Begasungen bzw. Schädlingsbekämpfung, organisatorische und sicherheitstechnische Angaben zur Durchführung einer Begasung bzw. einer Schädlingsbekämpfung und über arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen. Nur speziell ausgebildetes Personal, welches gemäß der TRGS den Befähigungsschein besitzt, darf diese Begasung durchführen. Die bei diesem Verfahren auftretenden starken Flüssigkeitsniederschläge an den Wänden und auf den Oberflächen und die nachfolgende Neutralisation mit Ammoniak

führen zu weißen Niederschlägen (Abb. 28). (Everall, Morris, Oliver & Becker, 1982; Munro, Lanser & Flower, 1999; Spicher & Peters, 1981)



**Abb. 27 und Abb. 28:** Desinfektion einer Sicherheitswerkbank der Klasse 2 durch Verdampfung von Formaldehyd-Lösung  
(Gerät: AUTEX, Fa. Dr. Gruss GmbH)

Eine Gasdesinfektion mittels Sublimieren von Paraformaldehyd ist hier eine Alternative bei der Raumdesinfektion (Taylor, Barbeito & Gremillion, 1969). Die desinfizierende Wirkung konnte anhand von Versuchen beim WIS unter Verwendung von *Bacillus species*-Sporen in nicht belegten Räumen nachgewiesen werden – die Oberflächen bleiben dabei trocken.

Als alternatives Verfahren, das die bei Verwendung von Formaldehyd möglichen Umwelt- und Gesundheitsprobleme ausschließt, ist die Raumdesinfektion mit gasförmigem Wasserstoffperoxid. Das Verfahren wird vielfach zur Desinfektion von Isolatoren und Räumen in der pharmazeutischen Industrie eingesetzt. Das flüssige Wasserstoffperoxid wird kontinuierlich verdampft und in einen entfeuchteten Luftstrom injiziert. Dafür sind auf dem Markt bereits kompakte Geräte erhältlich, die mit dem zu desinfizierenden Raum ein geschlossenes System bilden, in dem das Gas zirkuliert und nach Rückführung aus dem Raum zum Gerät mittels Katalysator in Wasserdampf und Sauerstoff (VHP = Vapourized Hydrogen Peroxide) zerlegt wird (Abb. 29) (Klapes & Vesley, 1990; Meszaros J.E., Antloga K., Justi C., Plesnicher C. & McDonnell G., 2005).

Die Desinfektionswirkung ist abhängig von der Luftfeuchtigkeit, Wasserstoffperoxid-Konzentration, Einwirkzeit und Temperatur. Somit verläuft der Sterilisationszyklus in vier Phasen: Trocknungs-, Konditionierungs-, Sterilisations- und Belüftungsphase. Zur Ermittlung der Zyklusdaten für einen Raum müssen eine Reihe von Mess- und Testläufen mit unterschiedlichen Einstellungen erfolgen. Hierbei werden unter Einsatz von Bioindikatoren die Gaskonzentration, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Volumenströme und die Gasverteilung im Raum optimiert.



Abb. 29: VHP-Generator  
(Fa. STERIS AMSCOVHP)

Die Effektivität des Verfahrens wurde beim WIS u. a. bei der Desinfektion von Sicherheitswerkbänken im Hochsicherheitslabor erfolgreich getestet. Aber auch die praktische Umsetzung des Verfahrens zur Desinfektion von mit Schimmelpilzen kontaminierten Innenräumen von gepanzerten Fahrzeugen konnte bestätigt werden.

Eine weitere formaldehydfreie Technik zur Raumdesinfektion – die Thermo-aerolisierung von Peressigsäure – wird zurzeit ebenfalls im Biologischen Zentrallabor auf ihre Wirkung hin intensiv untersucht (Abb. 30 und 31).



Abb. 30 und Abb. 31: Thermoaerosol-Desinfektion mit Heißnebelgerät (Swingfog SN 50, Fa. Swingtec)

Zur Desinfektion von Oberflächen bei Kontamination mit Milzbrand-Sporen sind momentan die Mittel der Wahl (u. a. der World Health Organization und des Robert Koch-Instituts) Formaldehyd und Peressigsäure. Im Biologischen Zentrallabor des WIS werden neue Wirkstoffformulierungen u. a. auf der Basis von Peressigsäure auf ihre Wirkung gegen Milzbrand-Sporen und deren Simili untersucht. Dabei wird auch die Ausbringung der Wirkstoffe als Schaum berücksichtigt (Abb. 32).



Abb. 32: Ausbringung eines Desinfektionsmittels als Schaum

## Literaturhinweise

EVERALL, P. H., MORRIS, C. A., OLIVER, P. R. & BECKER, J. F. (1982). „Problems in the disinfection of class 1 microbiology safety cabinets“. *J.Clin.Pathol.*, 35(7), 698-705.

KLAPES, N. A. & VESLEY, D. (1990). „Vapor-phase hydrogen peroxide as a surface decontaminant and sterilant“. *Appl.Environ.Microbiol.*, 56(2), 503-506.

MESZAROS, J. E., ANTLOGA, K., JUSTI, C., PLESNICHER, C. & McDONNELL, G. (2005). „Area fumigation with hydrogen peroxide Vapor“. *Applied Biosafety*, 10, 91-100.

MUNRO, K., LANSER, J. & FLOWER, R. (1999). „A comparative study of methods to validate formaldehyde decontamination of biological safety cabinets“. *Appl. Environ.Microbiol.*, 65(2), 873-876.

SPICHER, G. & PETERS, J. (1981). [Microbial resistance to formaldehyde. II. Dependence of the microbicidal effect upon the concentration of and the period of exposure to formaldehyde (author's transl)]. *Zentralbl.Bakteriol.Mikrobiol. Hyg.[B]*., 174(1-2), 133-150.

TAYLOR, L. A., BARBEITO, M. S. & GREMILLION, G. G. (1969). „Paraformaldehyde for surface sterilization and detoxification“. *Appl.Microbiol.*, 17(4), 614-618.



## 4.5 Wirksame Desinfektionsmittel gegen bakterielle Erreger der Risikogruppe 3

*Bernd Appel · Silke Becker · Roland Grunow  
Daniela Jacob · Silke Klee · Herbert Nattermann*

### Zusammenfassung

Mit Suspensions- und Keimträgerversuchen wurde die sporizide Wirkung von unterschiedlichen Konzentrationen von Formaldehyd- sowie wässriger und alkoholischer Peressigsäure- (PES-) Lösungen auf Milzbrandsporen untersucht. Formaldehyd (zehn Prozent) tötet Milzbrandsporen bei praktikablen Konzentrationen und Einwirkzeiten nicht sicher ab.

Mit einer einprozentigen PES-Lösung konnten in Suspensionsversuchen alle Sporen schon in weniger als zwei Minuten und mit einer 0,5-prozentigen PES-Lösung in weniger als drei Minuten abgetötet werden. Im Keimträgerversuch – einer Prüfung unter praxisnahen Bedingungen – überlebten die Sporen auf 38 Prozent der Keimträger eine Behandlung mit einer einprozentigen wässrigen PES-Lösung für 15 Minuten.

In 80-prozentiger ethanolischer Lösung war die Peressigsäure sowohl im Suspensions- als auch im Keimträgerversuch der wässrigen Lösung hinsichtlich ihrer sporiziden Wirkung deutlich überlegen. Eine 30-minütige Behandlung mit einer einprozentigen wässrigen PES-Lösung überlebten Milzbrandsporen auf 14 Prozent der Keimträger. Im Gegensatz dazu konnten mit einer 30-minütigen Einwirkzeit einer einprozentigen alkoholischen PES-Lösung Milzbrandsporen unter den Bedingungen dieses praxisnahen Prüfverfahrens sicher abgetötet werden.

Die nachgewiesene Verbesserung der sporiziden Wirkung der PES in alkoholischer Lösung sollte in praxisnahen Prüfverfahren weiter getestet werden (Wirkstoffzehrung, Schutzsubstanzen, beschleunigte Zersetzung der PES im Alkohol).

## Einleitung

Die Bezeichnung Desinfektion ist aus der medizinischen Praxis übernommen, wo es darum geht, die Übertragung von Krankheitserregern durch deren Abtötung zu verhindern. Nach der früher gültigen Definition (Deutsches Arzneibuch / DAB 6, 1926) handelt es sich um eine selektive Maßnahme, die sich gezielt auf die Ausschaltung der Krankheitserreger beschränkt.

- „Desinfizieren heißt, einen Gegenstand in einen Zustand versetzen, in dem er nicht mehr infizieren kann.“

In den Empfehlungen des Bundesgesundheitsamtes (BGA) zur Durchführung der Desinfektion (1987) wird Desinfektion wie folgt definiert:

- „Desinfektionsmaßnahmen bezwecken die Abtötung bzw. irreversible Inaktivierung von krankheitserregenden Keimen an und in kontaminierten Objekten sowie die Unterbrechung von Infektionsketten.“

Unter Wirksamkeit eines Desinfektionsmittels versteht man seine Eigenschaft, Mikroorganismen in ihrer Anzahl zu reduzieren. Der Grad der Wirksamkeit eines Desinfektionsmittels wird durch so genannte Reduktionsfaktoren, die sich auf Testkeime beziehen, bemessen. Von einer Desinfektion spricht man bereits bei einer Keimreduktion um mindestens 5 Logarithmus-Stufen, das heißt: Von ursprünglich 100.000 vermehrungsfähigen Keimen (KBE) überlebt nicht mehr als ein Einziger. Bei bioterroristisch relevanten bakteriellen Erregern mit geringer Infektionsdosis reicht dies jedoch nicht aus.

In der medizinischen Anwendungspraxis richten sich Desinfektionsmaßnahmen fast ausschließlich gegen vegetative Keime. Fast alle auf dem Markt befindlichen Desinfektionsmittel (DM) vermögen nicht unter den gegebenen Anwendungsempfehlungen mikrobielle Dauerformen, insbesondere bakterielle Sporen (Abb. 33) unschädlich zu machen.

Beim Umgang mit BT-Proben wird von einem Desinfektionsmittel erwartet, dass es mikrobielle Keime aller Art insbesondere bakterielle Sporen verlässlich abtötet. Um hohe Keimzahlen, wie sie z. B. in Bioterrorismus-Proben bereits vorkamen, sicher in einen Zustand zu versetzen, dass von solchen Materialien keine Gefahr mehr ausgehen kann, reicht eine Reduktion der Keimzahl um  $10^5$ ,



wie sie von der Desinfektionsmittelprüfung gefordert wird, nicht aus. Die meisten Desinfektionsmittel sind daher für eine schnelle und sichere Inaktivierung von hoch pathogenen Keimen, insbesondere Milzbrandsporen, nicht geeignet. So töten von den von der WHO [4] zur Abtötung von *Bacillus anthracis*-Sporen empfohlenen Mitteln Formaldehyd (FA), Glutardialdehyd (GA), Peressigsäure (PES), Wasserstoffperoxid und Natriumhypochlorit nur Natriumhypochlorit und PES mehr als 99,9 Prozent *Bacillus*-Sporen in dreißig Minuten ab [7]. Das bedeutet, dass bei den übrigen Desinfektionsmitteln bei einer Ausgangskeimzahl von  $10^9$  Sporen noch mindestens eine Million überleben können. Dies ist bei einer Infektionsdosis von 10.000 für *B. anthracis*-Sporen (Tab.14, Abb. 33) nicht ausreichend.

CDC	Spezies	Krankheit	Infektionsdosis
<b>A</b>	<i>Bacillus anthracis</i>	Milzbrand/Anthrax	8.000–10.000*
	<i>Yersinia pestis</i>	Pest	1–10 100–500 (CDC)
	<i>Francisella tularensis</i>	Tularämie/ Hasenpest	10–50
hohe Morbidität, hohe Mortalität			
<b>B</b>	<i>Burkholderia mallei</i>	Rotz/Malleus	gering
	<i>B. pseudomallei</i>	Melioidose	gering
	<i>Brucella spp.</i>	Brucellose	10–100
	<i>Coxiella spp.</i>	Q-Fieber	1–10
	<i>Rickettsia prowazekii</i>	Fleckfieber	unbekannt
hohe Morbidität, niedrige Mortalität			

\* Sporen

Tab. 14: Bioterroristisch relevante bakterielle Erreger

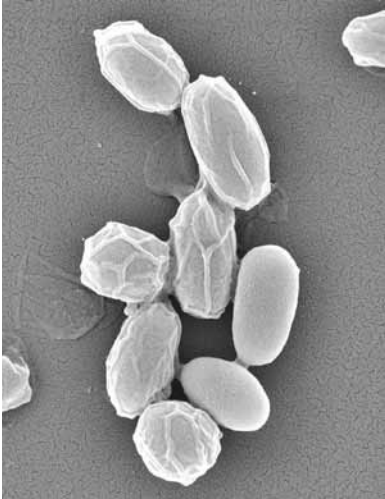


Abb. 33: Freie Sporen von *Bacillus anthracis*  
(Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme: M. Özel, RKI)

Aber auch Natriumhypochlorit, welches mehr als 99,9 Prozent *Bacillus*-Sporen innerhalb von dreißig Minuten abtötet, kann für diese Anwendung nicht empfohlen werden. Obwohl die Schwächen des Natriumhypochlorits als Desinfektionsmittel in der Literatur eindeutig belegt sind [6], werden sie nicht ausreichend berücksichtigt. Vor allem in den USA wird dieser Wirkstoff häufig und für fast alle Anwendungszwecke eingesetzt.

In Deutschland wird Natriumhypochlorit nicht zur Flächendesinfektion empfohlen, weil es in Gegenwart von organischem Material unzuverlässig wirkt. Natriumhypochlorit-Lösungen sind wenig stabil. Ihre Haltbarkeit ist von zahlreichen Faktoren abhängig: Konzentration, pH-Wert, Temperatur, Anwesenheit von Katalysatoren oder organischem Material, Lichteinwirkung. Bei pH 5-6 verlieren NaOCl-Lösungen schon in weniger als einer Stunde bis zu 90 Prozent ihres Gehaltes an Gesamt-Chlor [6]. Die Chlorzehrung ist besonders deshalb so bedeutungs- und verhängnisvoll, weil sie so rasch vonstatten geht. Ehe die Keime in nennenswertem Umfang inaktiviert sind, ist der Gehalt an wirksamem Chlor bereits stark abgefallen. Mit steigendem pH-Wert nimmt die Stabilität zu. Der pH-Wert der Handelsprodukte liegt daher bei Werten über 11.

Entscheidende Kriterien zur Auswahl geeigneter Desinfektionsmittel gegen hoch pathogene Erreger sind:

- starke Keimreduktion, vollständige Abtötung
- rasche und irreversible Wirkung
- breites Wirkungsspektrum
- Zuverlässigkeit der Wirkung (Eiweißschutzsubstanzen)
- Unschädlichkeit

Vom Robert Koch-Institut [3] wird in der „Empfehlung zur Vorgehensweise bei Verdacht auf Kontamination mit gefährlichen Erregern“ zur Flächendesinfektion

- einprozentige Peressigsäure (Einwirkzeit: 30 Minuten) oder
- zehnprozentiges Formaldehyd (Einwirkzeit: 2 Stunden) empfohlen.

Auch die WHO [8] empfahl für die Zerstörung von *B. anthracis*-Sporen zwei- bis zehnprozentiges Formaldehyd (Einwirkzeit: 30 Minuten bei 40 °C). Deshalb stellten wir uns die Aufgabe, die Wirksamkeit von Formalin und Peressigsäure auf *Bacillus*- einschließlich *B. anthracis*-Sporen zu testen. Damit sollte ein Beitrag zur Erhöhung der Sicherheit beim Umgang mit Bakterien der Risikogruppe 3 geleistet werden.

### Aufgabenstellung

- Prüfung der Wirksamkeit des für die Elektronenmikroskopie (EM) verwendeten Fixationsmittels (10 Prozent Formaldehyd + 0,05 Prozent Glutaraldehyd) in Abhängigkeit von der Einwirkzeit auf *B. anthracis*-Sporen in quantitativen Suspensionsversuchen
- Wirksamkeitsprüfung von Peressigsäure für die Flächendesinfektion mittels Suspensions- und Keimträgerversuchen an *B. anthracis*-Sporen
- Orientierende Untersuchungen zur Wirksamkeitsprüfung von Peressigsäure-Aerosol im Wofasteril®-Kombiverfahren an *B. anthracis*-Sporen

## Material und Methoden

### *Testorganismen*

Die Prüfung der Wirksamkeit von FA und verschiedener PES-Konzentrationen wurde an Sporensuspensionen von den avirulenten *B.-anthracis*-Stämmen CDC 10114 (W) und Stamatin, Sokol (S) vorgenommen.<sup>1</sup> Die Sporensuspension wurde nach Angaben eines geringfügig modifizierten Prüfverfahrens zur Testung der sporiziden Wirkung von chemischen Desinfektionsmitteln [1] hergestellt.

### **Suspensionsversuche**

Formaldehyd und PES sollten zunächst im Suspensionsversuch auf ihre Wirkung gegen Milzbrandsporen getestet werden. Hierfür wurde methodisch in Anlehnung an ein Prüfverfahren zur Testung der sporiziden Wirkung von chemischen Desinfektionsmitteln (EN 14347: 2004) vorgegangen [1]. Diese europäische Norm beschreibt einen Suspensionstest zur Prüfung, ob ein chemisches Desinfektionsmittel oder Antiseptikum unter den in dieser Norm festgelegten Laboratoriumsbedingungen eine spezifische Wirkung aufweist.

Prinzip: Im Hauptversuch wird zu dem zu prüfenden Desinfektionsmittel eine Prüfsuspension von Bakteriosporen gegeben. Das Gemisch wird bei 20 °C aufbewahrt. Nach definierten Einwirkzeiten wird die Reduktion der Ausgangskeimzahl bestimmt. Dazu wird mittels Verdünnung in Trypton-Soja-Bouillon und Neutralisationsmedium die Anzahl der überlebenden Bakteriosporen in jeder Probe bestimmt. Die ursprüngliche Anzahl der Bakteriosporen wird parallel dazu in der Prüfung ermittelt. Zusätzlich wurde die fehlende Toxizität der Neutralisationsmedien nachgewiesen.

### *Keimträgerversuche*

### **Allgemeines**

Für Untersuchungen zur Ermittlung der Gebrauchskonzentration und Einwirkzeit der PES unter praxisnahen Bedingungen modifizierten wir den in der Richtlinie des Bundesgesundheitsamtes zur Prüfung der Wirksamkeit von Flächendesinfektionsmitteln für die Desinfektion bei Tuberkulose beschriebenen

---

1 Für die Überlassung der Stämme möchten wir uns bei den Herren R. Böhm und W. Beyer, Universität Hohenheim, bedanken

Keimträgerversuch [2]. Die Prüfung verschiedener PES-Konzentrationen wurde an Milzbrandsporensuspensionen ohne Kontamination mit Blut und ohne Referenzverfahren bei ca. 20 °C vorgenommen.

Prinzip: Milzbrandsporen-Suspensionen wurden auf Keimträger aufgetragen, nach dem Antrocknen (max. 60 min) mit einer PES-Lösung überschichtet und mit Glasspatel verrieben. Nach definierten Einwirkzeiten wurden die Keimträger in 5 ml Trypton-Soja-Bouillon mit Neutralisationsmitteln und Glassperlen überführt und fünf Minuten geschüttelt. Danach wurden 100 µl auf Trypton-Soja-Agar-Platten (TSA-Platten) und 0,5 ml in 4,5 ml Luria-Bertani-Medium gegeben. Die Wachstumskontrolle der Anreicherungen erfolgte nach Inkubation bei 37 °C nach 1 und 14 Tagen durch Ausplattieren von 100 µl auf TSA-Platten.

Die Wirksamkeit des Desinfektionsmittels wird durch den Reduktionsfaktor angegeben; dies ist die Differenz zwischen dem Logarithmus (log KBE) des Bezugswertes und den Logarithmen der Anzahl koloniebildender Einheiten auf den Testflächen nach Einwirkung des zu prüfenden Desinfektionsmittels. Erläuternde Hinweise zu Material, Durchführung und Auswertung der Prüfung sind in der oben genannten Richtlinie und bei Nattermann et al. (2005) enthalten.

### **Ergebnisse und Diskussion – Formaldehyd**

In Suspensionsversuchen zur Ermittlung der Wirkung des Fixationsmittels für die Elektronenmikroskopie (10 % FA + 0,05 % GA) auf *B. anthracis*-Sporen bei 20 °C konnte eine Reduktion der Sporenzahl bereits nach 30 Minuten um 4 bis 5 log-Stufen festgestellt werden (Abb. 34).

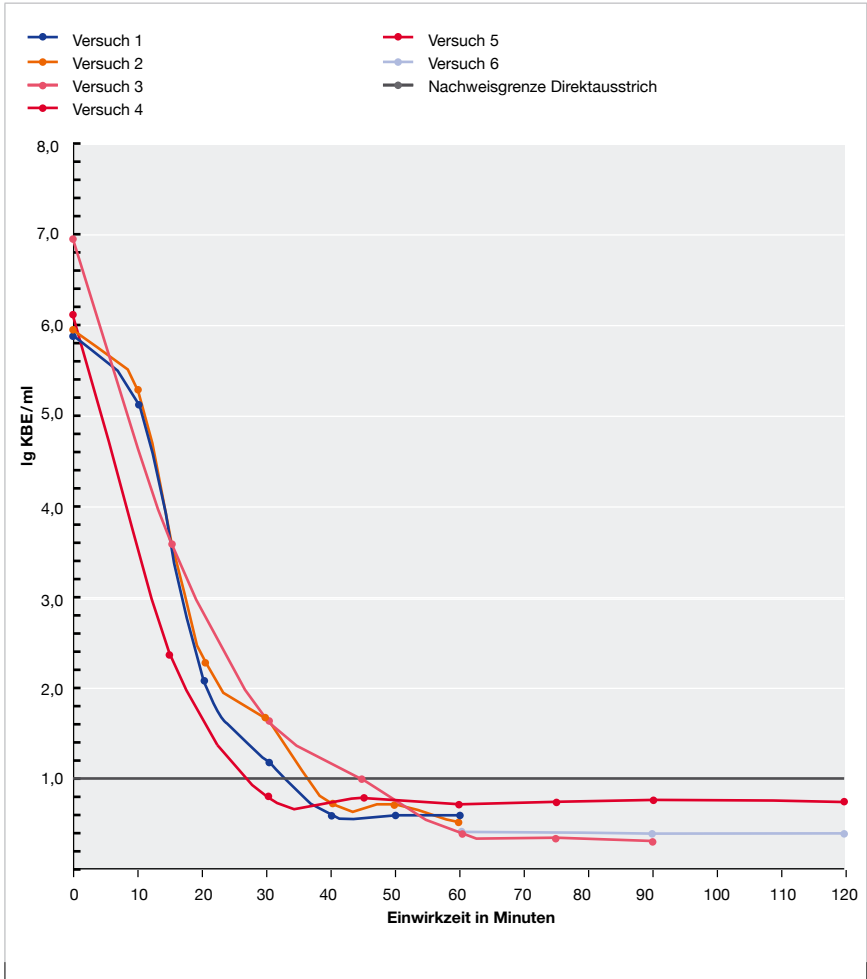


Abb. 34: Wirkung von Fixationsmittel für die EM (10 % FA + 0,05 % GA) auf *B. anthracis*-Sporen in Suspensionsversuchen bei 20 °C

Jedoch in allen Versuchen überlebten Sporen (24 x bei 30, 7 x bei 60 und 2 x bei 120 Minuten). Nach einer Einwirkzeit von über einer Stunde gelang die Rekultivierung nur über Anreicherung ( $< 10^3$  überlebende Sporen/ml Fixans). Im Ergebnis unserer Untersuchungen musste festgestellt werden, dass Milzbrandsporen ( $>10^8$ /ml) mittels Fixationsmittel bei einer Einwirkzeit von zwei Stunden nicht sicher abzutöten waren. Auch nach Erhöhung des Glutaraldehydgehaltes von 0,05 auf ein Prozent überlebten Milzbrand- und *B. cereus*-Sporen über sechzig Minuten.

Mit Formaldehyd war es somit bei Raumtemperatur nicht möglich, eine sichere Abtötung von *Bacillus*-Sporen, bei praktikablen Konzentrationen und Einwirkzeiten, zu erzielen. Für BT-Proben mit hohen Sporenkonzentrationen sind daher geeignetere Inaktivierungsverfahren erforderlich. Ein Erhitzen des Fixationsmittels auf 65 °C tötete *B. cereus*-Sporen ebenfalls nicht sicher ab. Von  $10^9$  Sporen/ml Fixans überlebten bis  $10^3$  Sporen eine EWZ von 70 Minuten. Sogar bei 70 °C konnten überlebende Milzbrandsporen nach 20, 30 und sogar 40 Minuten rekultiviert werden.

Auch nach Erhöhung des Glutaraldehydgehaltes auf ein Prozent überlebten *B. anthracis*-Sporen ( $< 10^3$ /ml Fixans) für 30 Minuten bei 65 °C. Literaturhinweise über eine wesentlich schnellere Wirkung von Formaldehyd bei höheren Temperaturen auf *B. anthracis*-Sporen konnten nicht bestätigt werden. In zehn Prozent FA überlebten Anthrax-Sporen vier Stunden bei 20 °C und bei 40 °C noch 45 Minuten. Da bei der Flächendesinfektion noch ungünstigere Ergebnisse zu erwarten sind, wurde als Alternative die Eignung der PES für die Desinfektion von mit *B. anthracis* kontaminierten Oberflächen getestet.

## Peressigsäure

Die vorliegenden Ergebnisse vor allem der Suspensionsversuche bestätigen die ausgezeichnete spozicide Wirkung der PES innerhalb vertretbarer Zeiten mit praxisgerechten Konzentrationen. Für die Flächendesinfektion empfiehlt das RKI eine einprozentige PES und eine EWZ von dreißig Minuten. In Suspensionsversuchen wurden *B. anthracis*-Sporen von einer einprozentigen wässrigen PES-Lösung in weniger als zwei Minuten und von einer 0,5-prozentigen wässrigen PES-Lösung (Abb.35) und einer 0,1-prozentigen alkoholischen PES-Lösung (Abb. 36) in drei Minuten bei allen Versuchsansätzen abgetötet.

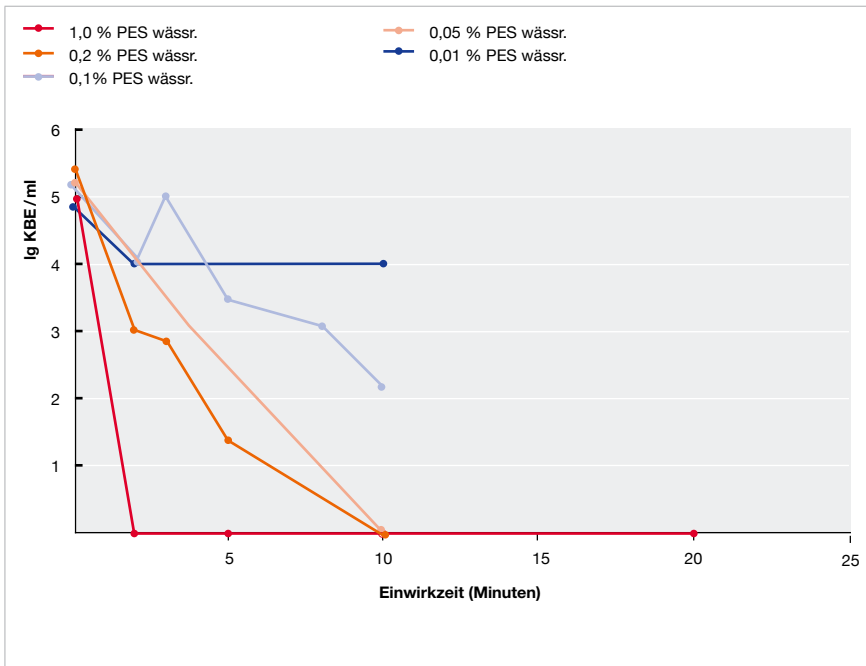


Abb. 35: Wirksamkeit von PES in wässrigen Lösungen auf Milzbrandsporen in Abhängigkeit von Konzentration und Einwirkzeit im Suspensionsversuch



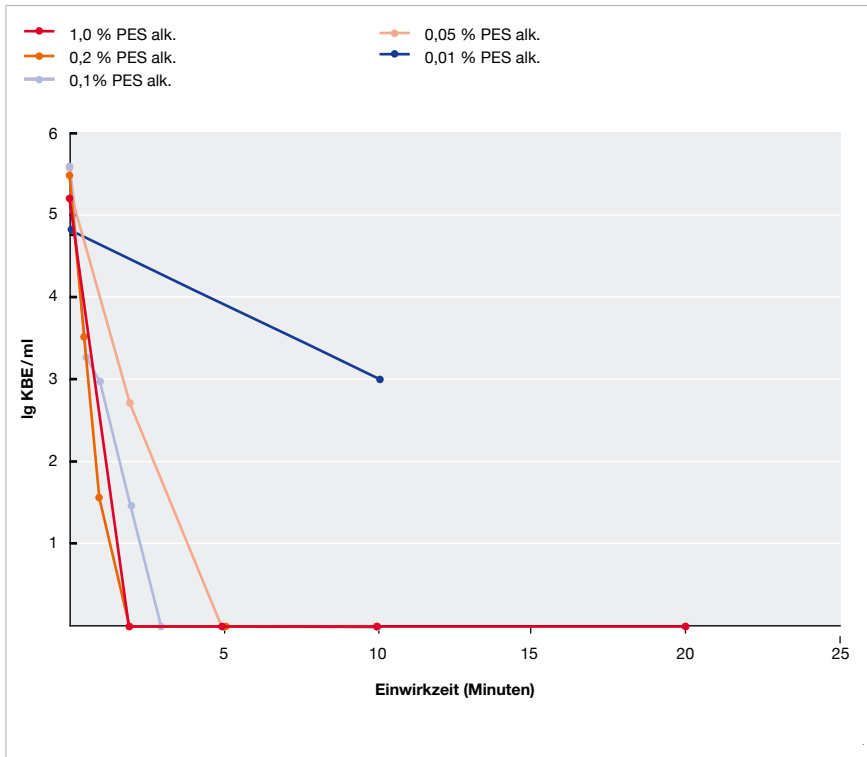


Abb. 36: Wirksamkeit von PES in alkoholischen Lösungen auf Milzbrandsporen in Abhängigkeit von Konzentration und Einwirkzeit im Suspensionsversuch

PES-Lösung	Abtötungszeit (Minuten)	Reduktion der Sporenzahl
<b>alkoholische PES-Lösung</b>		
0,1 %	3 min	> 3
0,2 %	2 min	> 5
<b>wässrige PES-Lösung</b>		
0,1 %	> 30 min	1
0,2 %	10 min	2

Weitere orientierende Ergebnisse sind bei Nattermann et al. (2005) zu entnehmen.

**Tab. 15:** Eine Lösung der PES in 80 Prozent Ethanol verkürzte die Abtötungszeit und beschleunigte die Reduktion des Ethanol

Bei den Keimträgerversuchen, die praktische Bedingungen simulieren, überlebten Milzbrandsporen erwartungsgemäß eine Behandlung mit höheren PES-Konzentrationen.

Während in Suspensionsversuchen die Sporen von einer 0,5-prozentigen PES-Lösung nach drei Minuten abgetötet wurden, widerstanden sie auf 38 Prozent der getesteten Keimträger einer einprozentigen wässrigen PES-Lösung 15 Minuten. Selbst eine 30-minütige Einwirkzeit überlebten einzelne Sporen noch auf 14 Prozent der Keimträger. Nach einer 30-minütigen Behandlung mit einer einprozentigen alkoholischen PES-Lösung konnte von keinem Keimträger *B. anthracis* rekultiviert werden. Bereits eine 0,6-prozentige alkoholische PES-Lösung tötete nach 5 Minuten Milzbrandsporen auf allen getesteten Keimträgern ab. Allerdings ließ sich von je einem der Keimträger, die mit 0,6-prozentiger alkoholischer PES-Lösung 15 und sogar 30 Minuten behandelt waren, *B. anthracis* anzüchten (Abb. 37).

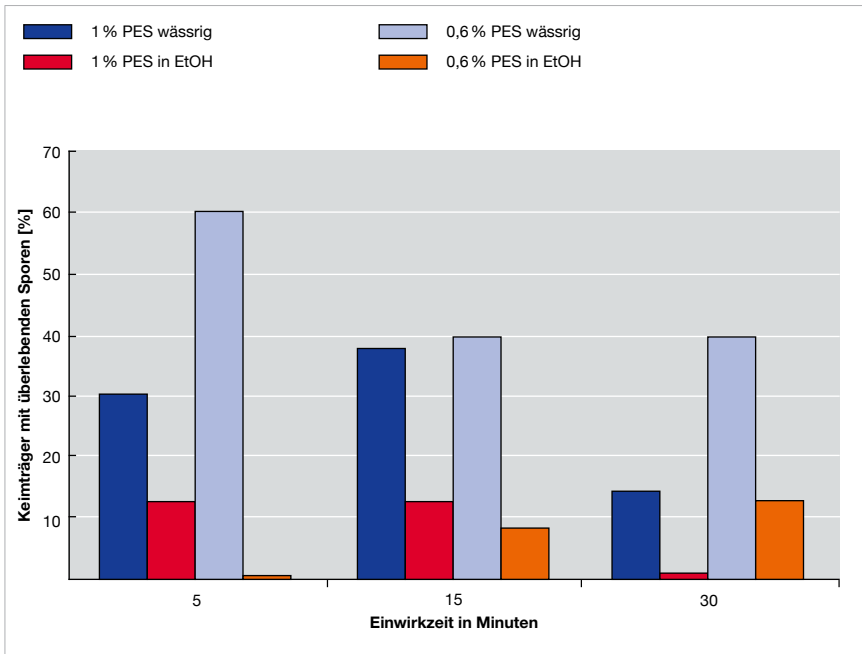


Abb. 37: Wirksamkeit von wässrigen und alkoholischen PES-Lösung auf *B. anthracis*-Sporen im Keimträgerversuch

Die Zahl der überlebenden Sporen war jedoch nur gering. Von den drei Möglichkeiten zum Nachweis nicht abgetöteter Sporen (Direktausstrich, TSB- und LB-Anreicherungen) gelang die Kultivierung nur jeweils bei einem Nachweisverfahren. In zwei Fällen konnte sogar *B. anthracis* nur jeweils als eine Kolonie bei einer der Doppelbestimmungen im Direktausstrich nachgewiesen werden. Die Anreicherungen blieben unbewachsen. Daraus kann geschlossen werden, dass nur eine Spore überlebt hatte. Dies und die nach Behandlung mit der 0,6-prozentigen alkoholischen PES-Lösung ermittelten wenigen Keimträger mit nur einzelnen überlebenden Sporen bei einer Nachweisgrenze von  $>1/100 \mu\text{l}$  Trypton-Soja-Bouillon und Neutralisationsmedium, erklären die unerwarteten Ergebnisse, dass bei längerer Einwirkung des Desinfektionsmittels scheinbar häufiger Sporen überlebten.

Die verbesserte sporizide Wirkung der alkoholischen Lösung der PES kann durch Zugabe weiterer Substanzen noch gesteigert werden. Dies muss in weiteren praxisnahen Versuchen noch exakt geprüft werden. Bei den notwendigen Prüfverfahren gilt es weitere mögliche Einflussfaktoren wie Wirkstoffzehrung oder Schutzsubstanzen für die Sporen (z.B. Silicagel) zu beachten. Auch kann die Ausgangskeimzahl das Ergebnis der Desinfektion beeinträchtigen. So konnten in orientierenden Untersuchungen nach Erhöhung der Ausgangssporenkonzentration um nur eine log-Stufe nach Behandlung mit einer 0,6-prozentigen alkoholischen PES-Lösung häufiger *B. anthracis* rekultiviert werden. Aus diesen Gründen sollte bei der Desinfektion von hoch pathogenen Erregern ein Sicherheitsfaktor (u. a. längere Einwirkzeit, höhere Konzentration) vorgesehen werden.

Zur Erhöhung der Sicherheit beim Umgang mit Bakterien der Risikogruppe 3 sind weitere Desinfektionsverfahren auf ihre Anwendbarkeit bei dieser Erregergruppe zu testen. So soll u. a. die Wirksamkeit von Aerosoldesinfektionsverfahren mit PES auf Milzbrandsporen geprüft werden. In orientierenden Experimenten wurde die Wirksamkeit von PES-Aerosol im Wofasteril®-Kombiverfahren auf *Bacillus spp.* ( $20 \text{ ml/m}^3$ , zweiprozentige PES, 30 min EWZ) untersucht. Die Sporenzahl von *Bacillus spp.* konnte im Keimträgerversuch um eine bis vier log-Stufen reduziert werden. Auf Nährmedienplatte ließen sich  $10^6$  Sporen vollständig inaktivieren. Sporenlose Bakterien waren nach 15 Minuten bereits inaktiviert.

Auch in einem Laborversuch war die Wirksamkeit von PES-Aerosolen im Wofasteril®-Kombiverfahren auf *Bacillus spp.* ( $40 \text{ ml/m}^3$ , dreiprozentige PES) nachzuweisen. Nach 30 Minuten wurde bereits eine Reduktion der Sporenzahl um 4 log-Stufen ermittelt. Nach 18 Stunden waren *Bacillus subtilis* ( $10^6$ /Keimträger) und *B. anthracis* ( $10^5$ /Keimträger) abgetötet.

## Schlussfolgerungen

- Formaldehyd (zehn Prozent) tötet Milzbrandsporen bei praktikablen Konzentrationen und Einwirkzeiten nicht sicher ab.
- Peressigsäure besitzt eine ausgezeichnete sporizide Wirkung bei vertretbaren Einwirkzeiten mit praxisgerechten Konzentrationen.
- Einprozentige PES-Lösung ( $68 \text{ ml/m}^2$ ) überlebten Milzbrandsporen über 30 Minuten in 2 von 14 Keimträgern in geringer Zahl.
- Alkoholische PES-Lösungen sollten in praxisnahen Prüfverfahren weiter getestet werden (Wirkstoffzehrung, Schutzsubstanzen, Sporenzahlen, beschleunigte Zersetzung der PES im Alkohol).

## Literaturhinweise

[1] Chemisches Desinfektionsmittel und Antiseptika – Sporizide Wirkung (Basistest) – Prüfverfahren und Anforderungen (Phase 1, Stufe 1); Deutsche Fassung EN 14347:2004.

[2] Bekanntmachung des Bundesgesundheitsamtes (1994) Richtlinie des Bundesgesundheitsamtes zur Prüfung der Wirksamkeit von Flächendesinfektionsmitteln für die Desinfektion bei Tuberkulose. Bundesgesundheitsblatt 37: 274–275.

[3] Empfehlungen des Robert Koch-Instituts: Vorgehensweise bei Verdacht auf Kontamination mit gefährlichen Erregern (z. B. Verdacht auf bioterroristischen Anschlag: Stand 14.06.2002.

[4] WHO, EMC, ZDI/98.6 PCb Turnbull: Guidelines for the Surveillance and Control of Anthrax in Human and Animals 3 rd edition.

[5] NATTERMANN, H., BECKER, S., JACOB, D., KLEE, S. R., SCHWEBKE, I., APPEL, B. 2005: Effiziente Abtötung von Milzbrandsporen durch wässrige und alkoholische Peressigsäure-Lösungen. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz. 48 (8): 939-950.

[6] PETERS, J., UND SPICHER, G. 1988: „Zur Eignung von Natriumhypochlorit und Chloramin T für die Flächendesinfektion“. Bundesgesundheitsbl. 31 Nr. 9: 330-335.

[7] SAGRIPANTI, J. L., BONIFACINO, A. 1996: „Comperative Sporicidal Effekts of Liquid Chemical Agents“. Appl. Environ. Microbiol. Feb. 1996, 545-551.

[8] WHO, SEA-HLM-371: Manual for Laboratory Diagnosis of Anthrax, World Health Organisation 2003

## 4.6 Abwehr von ABC-Gefahren - Dekontamination von Verletzten nach einem Massenanfall von Verletzten bei einem C-Schadensereignis

*Bernd Domres · Andreas Manger · Stefan Brockmann · Rainer Wenke  
Yasar Demirdag · Thomas Hädinger † · Eckhard Helms · Mike Kay  
Michael Koch · Klaus Oesten · Mesut Özeke · Timo Rieg · Ulrich Schwillen  
Wolfram Auch · Rolf Schwarz · Markus Appenzeller · Eberhard Beck  
Hans Fischer*

### Zusammenfassung

Im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsprojektes an der Universität Tübingen wurde in Form einer Machbarkeitsstudie ein Konzept hinsichtlich Aufbau und Ablauf einer zeitnahen Dekontamination und Notfallversorgung kontaminierter Verletzter beim Massenanfall von Verletzten mit Gefahrstoffen erarbeitet. Das Konzept beinhaltet, dass 72 Hilfskräfte der Feuerwehr und des Rettungsdienstes im kontaminierten Bereich in 90 Minuten etwa 50 kontaminierte Verletzte erstversorgen und dekontaminieren können.

Der Schutz der Helfer vor kontaminierten Patienten hat absolute Priorität. Dies führt zur Forderung, direkt an der Einsatzstelle, unter adäquater persönlicher Schutzausrüstung, qualifizierte medizinische Versorgung und Dekontaminationsmaßnahmen durchzuführen.

### Einleitung

Im Fall der Freisetzung gefährlicher chemischer Substanzen mit nachfolgender Kontamination einer größeren Anzahl von Personen (Verletzte und nichtverletzte Betroffene), müssen diese vor Ort nach einer medizinischen Erstversorgung dekontaminiert werden. Neben dem Aufbau eines Dekontaminations- und Behandlungsplatzes direkt am Schadensort ist es unverzichtbar, Krankenhäuser für solche Fälle vorzubereiten. Erfahrungen haben eindeutig gezeigt, dass ein erheblicher Teil der Exponierten (Patienten/Personen) selbstständig und ungeordnet umliegende Krankenhäuser aufsucht. Deswegen kommt es bei unzureichendem Management zu sekundären Kontaminationen und Erkrankungen, die die gesamte Patientenversorgung gefährden.

Der Nervenkampfstoff-Anschlag auf die Tokioter U-Bahn hat die Probleme und Defizite der herkömmlichen Katastrophenplanungen aufgedeckt. So wurde ein Krankenhaus innerhalb weniger Stunden nach dem Zwischenfall von Patienten „überrannt“ (Tab. 16).

Anzahl Patienten	Schweregrad der Verletzung/ Kontamination
1.414	Patienten zur ambulanten Behandlung
164	Patienten zur stationären Behandlung
520	Leichtverletzte
107	Mittelschwerverletzte
4	Schwerverletzte

Tab. 16: Massenanfall von Verletzten nach dem Sarin-Giftgasanschlag in Tokio: St. Luke's Hospital (600 Betten)

Am Schadensort wurde keine Dekontamination durchgeführt und alle Patienten, die mobil waren, haben sich auf eigene Faust und somit „unkoordiniert“ in Behandlung begeben. Die nicht vorhandene Ausrüstung bzw. Planung für ein solches Ereignis führte sekundär zu zahlreichen Problemen in der Notfallbehandlung (Tab. 17). Die Triage wurde in einer Halle mit unzureichender Entlüftung durchgeführt, und Patienten wurden primär nicht entkleidet (als erste „Maßnahme“ der Dekontamination).



Wo	Wieviele	Wer
<b>Vor Ort</b>	135 (9,9 %) von 1364	<b>Rettungskräfte</b> mussten ihre Rettungstätigkeit einstellen und medizinisch behandelt werden (vor allem <b>Transportpersonal</b> )
<b>Krankenhaus</b>	110 (23 %) von 472	<b>Krankenhauspersonal</b> zeigte akute Intoxikationssymptome (abhängig von der Raumbelüftung)

Tab. 17: Sekundärkontamination von Einsatzkräften nach dem Nervenkampfstoff Sarin in Tokio: St. Luke's Hospital (600 Betten)

Als „**lessons learned**“ aus dem Einsatz von Nervenkampfstoff in Tokio gelten unter anderem die nachfolgenden Erkenntnisse:

- nach Möglichkeit immer eine Vor-Ort-Dekontamination durchführen
- Vorhaltung von geeigneten Dekontaminationssystemen
- adäquate Schutzausrüstung (PSA) für Einsatzkräfte
- Krankenhäuser müssen mit Dekontaminationseinheiten ausgestattet werden
- Unterrichtung, Einweisung und in Übung halten des Personals

### Grundlagen des Konzeptes zur Dekontamination von chemisch Verletzten

Ein Konzept zur Dekontamination von verletzten Personen nach chemischen Zwischenfällen stellt die verschiedenen Einsatzkräfte vor zahlreiche Herausforderungen, z. B. aufgrund eines möglicherweise erheblichen Gefährdungspotenzials ganz besonders der Einsatzkräfte aus dem medizinischen Bereich neben den „üblichen“ Anforderungen im Einsatzgeschehen.

Daher müssen unter Berücksichtigung einer angemessenen Zeitnähe zur Exposition vor allem die Verschleppung der Kontamination und die zusätzliche Gefährdung der Einsatzkräfte und des Personals verhindert werden.

Als Grundlage für ein Konzept zur Dekontamination von Verletzten nach chemischen Zwischenfällen ist ein gewisses Maß an Kenntnis über die chemischen Substanzen, ihre grundlegenden physiologischen Eigenschaften sowie ihre Toxizität notwendig. Alle beteiligten Einsatzkräfte müssen über dieses Basis-

wissen verfügen, nicht nur um eine optimale Patientenversorgung gewährleisten zu können, sondern auch um den Prinzipien des Selbstschutzes gerecht zu werden. Spezielle Einsatzkräfte müssen das Know-how der Diagnostik beherrschen, andere wiederum müssen zu den spezifischen Antidoten, Behandlungsformen und Substanzen zur Dekontamination geschult sein.

Dekontamination ist definiert als Entfernung oder Neutralisation chemischer Substanzen, so dass diese nicht mehr schädigend wirken. Die Substanzen können mittels physikalischer Maßnahmen entfernt oder auf chemischem Weg neutralisiert werden. Die Dekontamination der Haut ist das primäre Anliegen, um schädigende Einflüsse so schnell wie möglich zu minimieren. Auch die Dekontamination von Augen und Wunden sollte unverzüglich vorgenommen werden. Bei der Dekontamination von Personen unterscheidet man prinzipiell:

- *Selbst- oder Eigendekontamination*  
sie bezieht sich auf eine von der betroffenen Person selbst durchgeführte Dekontamination sowie die Dekontamination durch Laienhelfer (z. B. Angehörige).
- *Dekontamination von Personen (Bevölkerung)*  
sie bezieht sich auf die Dekontamination von unverletzten betroffenen Personen durch geschulte Einsatzkräfte.
- *Dekontamination Verletzter*  
sie bezieht sich auf die Dekontamination verletzter Personen (Bevölkerung und Einsatzkräfte) durch geschulte Einsatzkräfte.
- *Dekontamination von Einsatzkräften bzw. Personal*  
sie bezieht sich auf die Dekontamination von nicht verletzten Einsatzkräften, die in Schutzkleidung gearbeitet haben, durch andere Einsatzkräfte.

Die wirksamste Dekontamination einer Person nach einer chemischen Exposition ist die Dekontamination, die unmittelbar nach der Kontamination durchgeführt wird. Diese Vorgabe wird lediglich von der Eigendekontamination erfüllt, da in dieser kurzen Zeitspanne Hilfe von Einsatzkräften in der Regel noch nicht verfügbar ist. Die Selbsthilfe einer kontaminierten Person kann den Unterschied zwischen Überleben (oder geringfügiger Verletzung) und Tod (oder schwere Verletzung) bedeuten.

Nach einem Zwischenfall mit chemischen Gefahrstoffen muss man grundsätzlich davon ausgehen, dass alle Personen, die sich im Gefahrenbereich aufgehalten haben, kontaminiert sind. Daher ist eine Dekontamination aller Betroffenen mit anschließendem Kontaminationsnachweis unerlässlich. Dies muss zum Schutz der Betroffenen so rasch als möglich vor Ort geschehen aus folgenden Gründen:

- Die Einwirkung von Chemikalien auf den menschlichen Körper kann bei Verzögerung der Dekontamination zu weiteren Schäden des Patienten führen.
- Einsatzkräfte, die in Kontakt mit den Kontaminierten kommen, müssen vor der Chemikalie geschützt werden.
- Nachfolgende medizinische Versorgungseinheiten müssen frei von jeglicher Kontamination gehalten werden, da ansonsten die weitere Versorgung von Erkrankten und Verletzten massiv beeinträchtigt werden kann.
- Insgesamt muss gefolgert werden, dass eine Verschleppung der Kontamination schwerwiegende Einflüsse auf die rettungsdienstliche sowie medizinische Infrastruktur und das „Outcome“ der Verletzten haben kann.

Die Dekontamination von Verletzten ist eine komplexe Aufgabe. Der Prozess erfordert die Bereitstellung einer großen Anzahl von Einsatzkräften, Material und erheblichen Zeitaufwand. Auch bei exakter Planung und Übung ergibt sich für die Dekontamination von Verletzten aus dem notwendigerweise raschen Handlungsbedarf ein nur kleines Zeitfenster.

### **Eckpunkte eines Konzeptes zur Dekontamination**

- Aufgrund der gegenwärtigen Ineffizienz des Kontaminationsnachweises werden alle bei einem Schadstoffunfall Verletzten und Betroffenen als potenziell kontaminiert betrachtet.
- Verletzte werden, so weit als möglich, vor Ort medizinisch erstversorgt und anschließend dekontaminiert.
- Krankenhäuser müssen vorbereitet sein, um für unkontrolliert eintreffende kontaminierte Patienten gewappnet zu sein.
- Dekontaminationsequipment und persönliche Schutzausrüstung müssen aufgerüstet werden und multifunktionell einsetzbar sein.

- Arbeitsteilung auf allen Ebenen: „Interdisziplinäre Kooperation“ zwischen Feuerwehr und Rettungsdienst in einem Einsatzabschnitt.

**Umgesetzt in ein Konzept zur Dekontamination von Verletzten vor Ort bedeutet dies:**

- Sweeping-Triage
- frühes Entfernen der Kleidung (wesentliche Dekontaminationsmaßnahme)
- Registrierung (Identifikation), Kontrolle und Management von persönlichen Wertgegenständen
- Dekon-Triage
- Spot-Dekontamination, Antidotgabe, Basic Life Support, Wundversorgung
- Ganzkörper-Dekontaminationsmöglichkeit für mobile und immobile Patienten
- Dekontamination (1 min Duschen, 3 min Einseifen mit pH-neutraler Seife, 2 min Abspülen)
- Negativer Kontaminationsnachweis vor der Übergabe des Verletzten an den Rettungsdienst

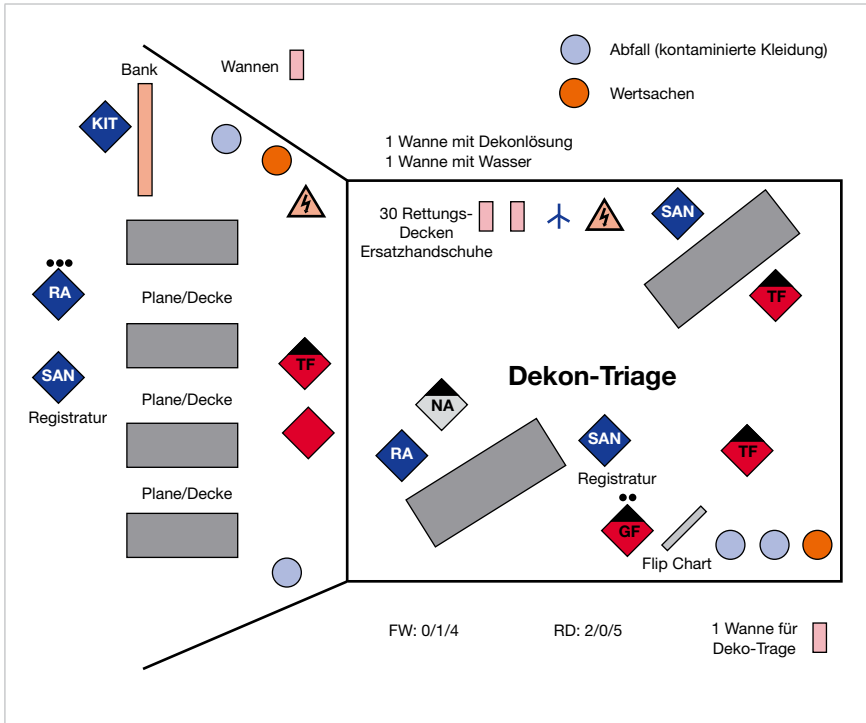


Abb. 38: Dekon-Triage (Quelle: AGKM Tübingen)



Abb. 39: Entfernung der Kleidung vor Triagierung  
(Quelle: AGKM Tübingen)

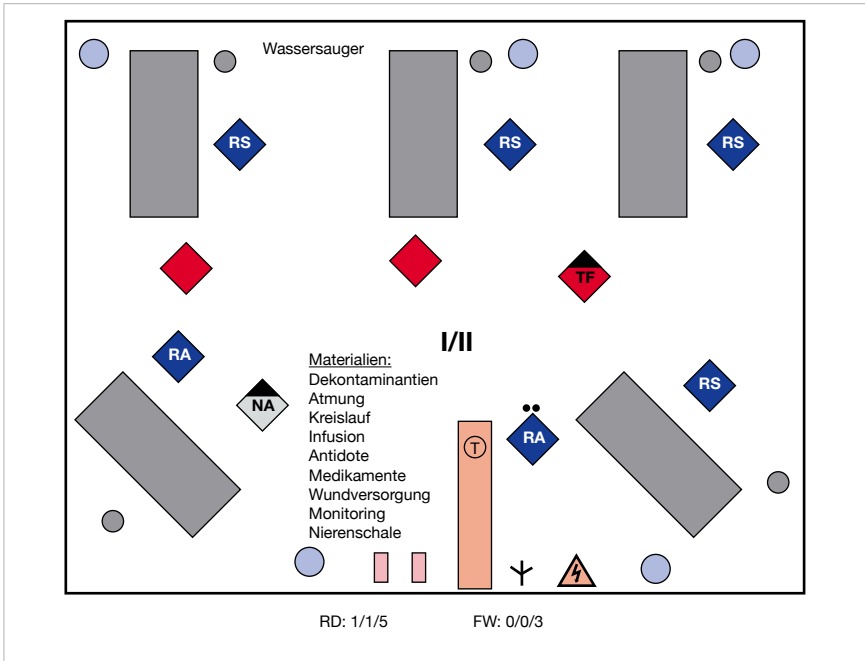


Abb. 40: Triage-Gruppe I/II – Zeit (Quelle: AGKM Tübingen)



Abb. 41: Spotdekontamination  
(Quelle: AGKM Tübingen)

Abb. 42: Medizinische Erstversorgung  
(Quelle: AGKM Tübingen)

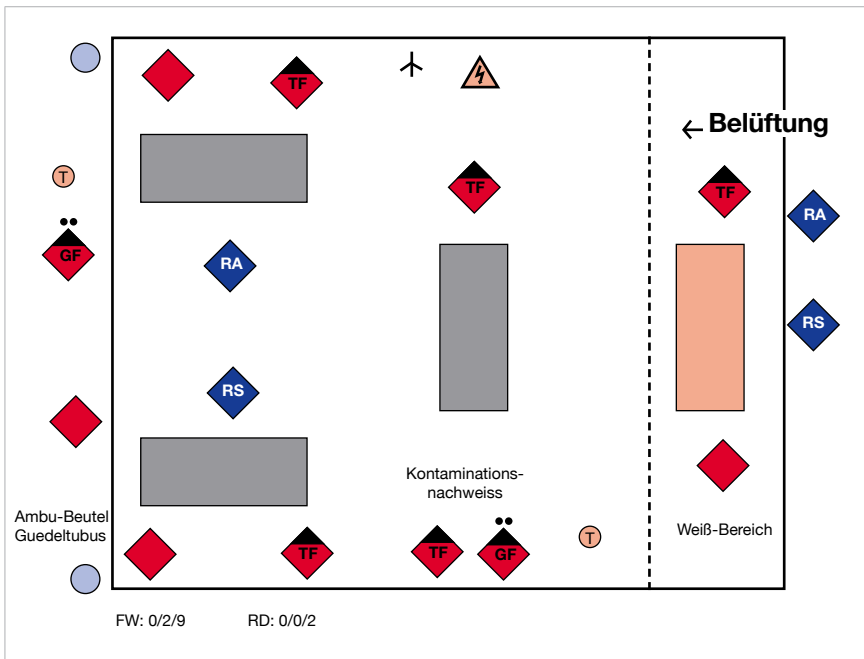


Abb. 43: Dekontaminationszelt „liegend“ (Quelle: AGKM Tübingen)



Abb. 44: Dekontamination eines liegenden Patienten  
(Quelle: AGKM Tübingen)



Abb. 45: Kontaminationsnachweis „gehender Patient“  
(Quelle: AGKM Tübingen)



Abb. 46: Dekontamination eines liegenden Patienten  
(Quelle: AGKM Tübingen)

## Dekontaminationsplatz

Der Einsatzabschnitt (EA), in dem die Maßnahmen zur Dekontamination Verletzter durchgeführt werden, ist als „Dekontaminationsplatz Verletzter“ (DEKON V) definiert. Er liegt zwischen dem Gefahrenbereich (Schadensort) und einer kontaminationsfreien „weißen Zone“ – in der Regel vor dem eigentlichen medizinischen Behandlungsplatz des Rettungs- und Sanitätsdienstes.

Dieser Dekontaminationsplatz gliedert sich in verschiedene Bereiche mit unterschiedlichen Funktionen. Zum Dekontaminationsplatz zählen neben dem



Dekon-Ankunftsbereich (zum Sammeln und Registrieren der Betroffenen), der Dekon-Triagebereich (inklusive Patientenleitsystem), der Dekon-Behandlungsbereich, der Dekontaminationsbereich V für liegende und gehende Kontaminierte, der Dekontaminationsbereich P für Einsatzkräfte und Material sowie die (imaginäre) Grenzlinie zwischen dem kontaminierten („schwarzen“) und kontaminationsfreien („weißen“) Bereich.

Der Dekontaminationsplatz wird gemeinsam von Kräften der Feuerwehr und des Rettungsdienstes aufgebaut und unterhalten.

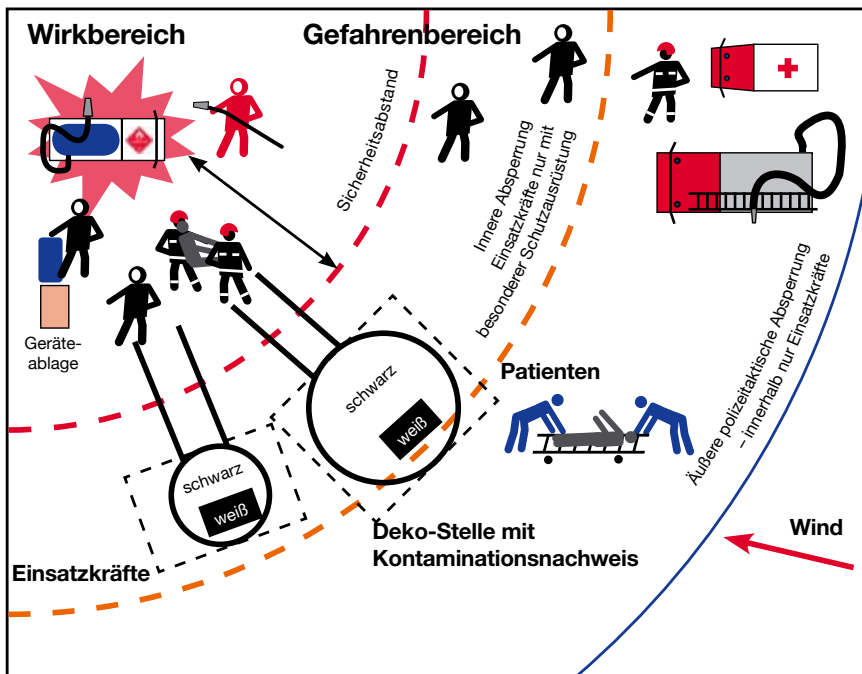


Abb. 47: Bereichseinteilung einer Einsatzstelle mit „Gefährlichen Stoffen“  
(Quelle: AGKM Tübingen)

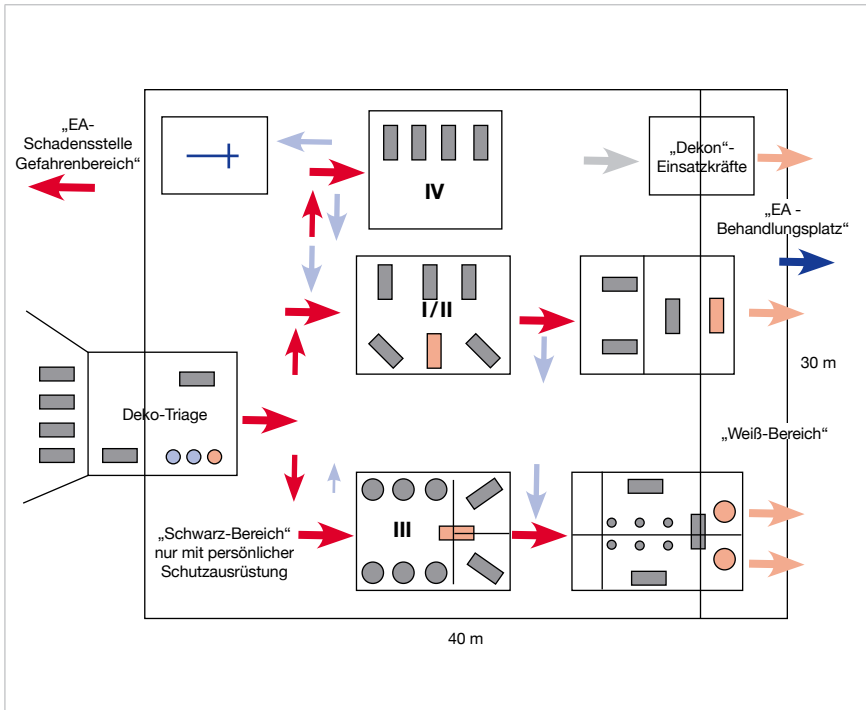


Abb. 48: Gesamtüberblick „Konzept bis 50 kontaminierte Verletzte“ (Quelle: AGKM Tübingen)

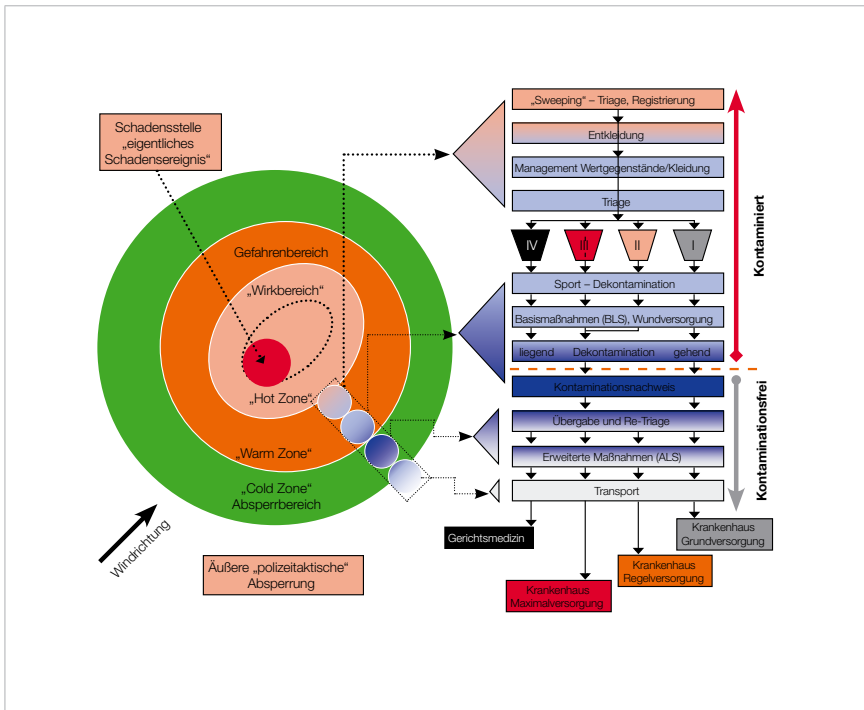


Abb. 49: Einsatzstelle (Quelle: AGKM Tübingen)

Vor der eigentlichen Dekontamination werden zunächst im Ankunftsbereich alle Betroffenen gesammelt, registriert und nach „liegend“ und „gehend“ eingeteilt. Im Bereich der Dekon-Triage wird die Dringlichkeit der Behandlung vor dem Dekontaminationsprozess festgelegt. Am Dekon-Behandlungsplatz werden als Behandlungsmaßnahmen die Spotdekontamination, Basismaßnahmen zur Lebenserhaltung „Basic Life Support“ (BLS), Gabe von Antidoten und die wasserdichte Abdeckung von Wunden durchgeführt.

Eine sofortige Behandlung im kontaminierten Bereich ist beim Massenansturm von Verletzten im Gegensatz zum herkömmlichen Rettungsdienstesatz aus zwei Gründen erforderlich: Nur durch eine rasche „Spot-Dekontamination“

z. B. von Gesicht, offensichtlich kontaminierten Körperstellen, Wunden und herkömmlichen Punktionsstellen kann eine Minimierung der Morbidität und Letalität vor der wegen des Massenanfalls Betroffener zu erwartenden verzögerten Dekontamination erreicht werden. Analysen früherer Schadensfälle zeigen, dass bei einem solchen Massenanfall kontaminierte Verletzte häufig nur vital stabilisiert und vorbehandelt (z. B. Wundversorgung mit anschließender Wundabdeckung) einen Dekontaminationsprozess lebend durchlaufen. Im Dekontaminationsbereich V werden liegende und lauffähige Patienten in unterschiedlichen Zelten dekontaminiert. Im Dekontaminationsbereich P werden abschließend die Einsatzkräfte und ihr Material dekontaminiert.

Vor dem Passieren der Grenzlinie erfolgt ein Kontaminationsnachweis zum Ausschluss einer Kontaminationsverschleppung. Durch die Übergabe an der „Hotline“ erreicht der Patient den „weißen“ (nicht kontaminierten) Versorgungsbereich (medizinischer Behandlungsplatz), wo eine Re-Triage und die weitere notfallmedizinische Versorgung durchgeführt werden. In dem sich anschließenden Verfügungsbereich (Bereitstellungsraum für den Abtransport) erfolgt die Organisation des Abtransportes.

## **Verantwortlichkeiten**

Der Einsatzabschnitt „Dekontaminationsplatz Verletzter“ (EA DEKON V) gliedert sich in neun Unterabschnitte (UA), die jeweils von einer Führungskraft (Zug- oder Gruppenführer – ZF/GF) – im nachfolgenden als Unterabschnittleiter (UAL) bezeichnet – geleitet wird. Je nach Aufgabenschwerpunkt ist dieser Unterabschnittsleiter bei der Feuerwehr (ZF/GF FW: alle Aufgabenstellungen die mit Infrastruktur, Dekontamination oder Kontaminationsnachweis zu tun haben) oder beim Rettungsdienst (ZF/GF RD: alle medizinischen Aufgabenstellungen) angesiedelt.

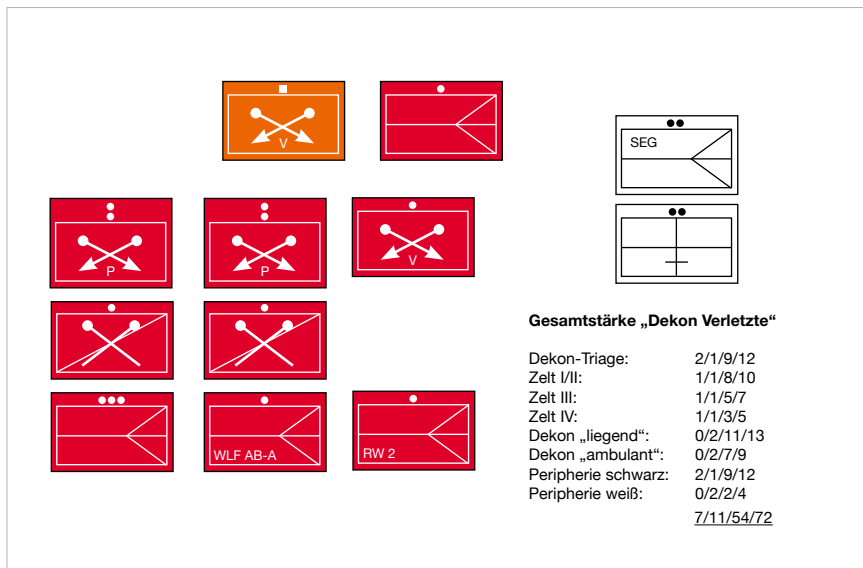


Abb. 50: Gesamtstärke „Dekon-Verletzte“ (Quelle: AGKM Tübingen)

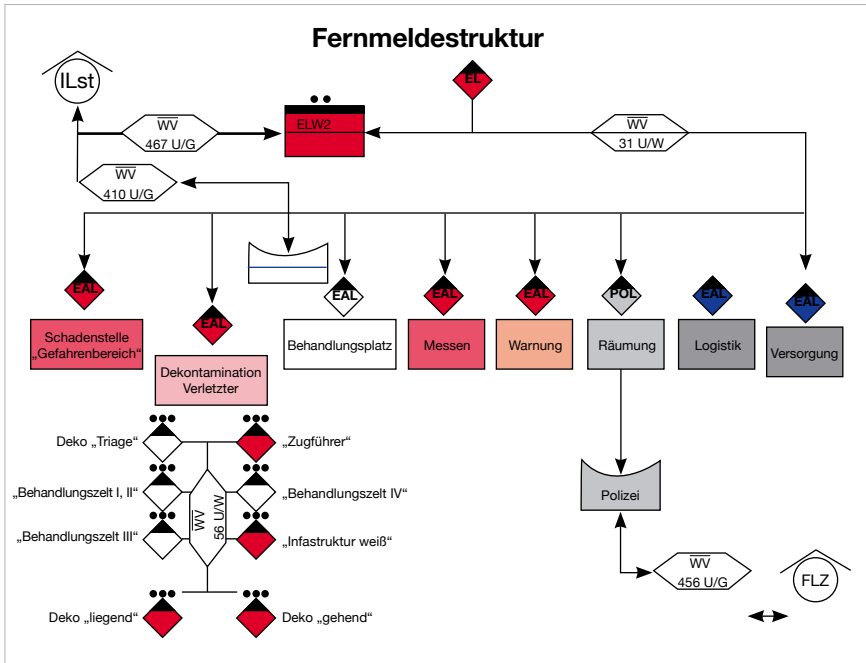


Abb. 51: Gesamtstärke „Dekon-Verletzte“ Fernmeldestruktur“ (Quelle: AGKM Tübingen)

Die Gesamtverantwortung für den Einsatzabschnitt Dekon V obliegt dem zuständigen Einsatzabschnittsleiter (EAL) der Feuerwehr, unterstützt durch den Zugführer des Rettungsdienstes, einem weiteren Zugführer der Feuerwehr sowie im Rahmen ihrer medizinischen Kompetenz durch die mitwirkenden Notärzte. In den einzelnen Unterabschnitten werden die Kompetenz und die Aufgaben auf die einzelnen Unterabschnittsleiter delegiert. Die medizinische Kompetenz und die Weisungsfreiheit der behandelnden Notärzte bleiben davon unberührt.

**Die Einsatzabschnittsleitung regelt im Einzelnen:**

- Aufbau und Betrieb des Einsatzabschnittes
- Absperrung des Einsatzabschnittes
- Koordination innerhalb des Dekon-Abschnittes, besonders der Patientenströme

- Kommunikationsstruktur zur Einsatzleitung und den Unterabschnittsleitern
- Infrastruktur und Versorgung
- Verantwortung für Mannschaft und Gerät innerhalb des Einsatzabschnittes

Zur Bewältigung seiner Aufgaben und zur Sicherstellung der Kommunikationsstruktur innerhalb und nach außen zur Einsatzleitung steht dem EAL DEKON V ein Zugführer der Feuerwehr zur Verfügung. Dieser unterstützt den EAL und koordiniert die Arbeiten zwischen den einzelnen Unterabschnitten sowie die Patientenverteilung. Außerdem steht ein Feuerwehrtrupp (Truppmann und -führer) ohne besondere Aufgabenzuteilung zur Versorgung mit Materialien aus dem Weiß-Bereich und dort wo Personalengpässe auftreten (z. B. Betrieb des Unterabschnittes Dekon „gehend“ als Dekon „liegend“ oder Ausfall bzw. zusätzliche Träger usw.) zur Verfügung.

Aufgrund der modularen Bauweise des Konzeptes sind optional auch andere Konzepte für z. B. 5 bis 20 verletzte kontaminierte Personen mit einem geringeren personellen Aufwand anwendbar.

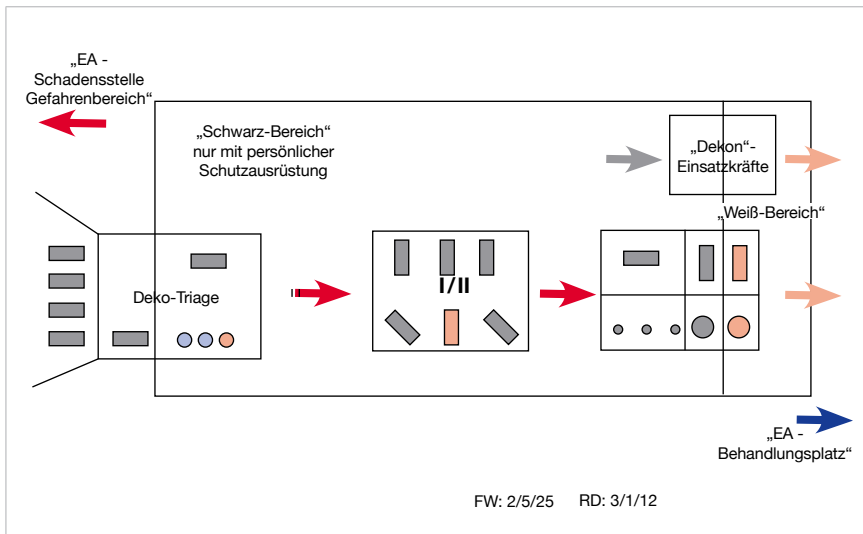


Abb. 52: Konzept: 5 bis 20 kontaminierte Verletzte (Quelle: AGKM Tübingen)

## Überblick

Der Umgang mit gefährlichen Stoffen und Gütern ist aus unserer modernen, hoch industrialisierten Welt nicht mehr wegzudenken. Gewinnung, Transport, Lagerung und Verarbeitung stellen Risiken dar, denen sich nicht nur die Hilfs- und Rettungsorganisationen zu stellen haben. Die Proliferation von Massenvernichtungswaffen und die neuen Formen des Terrorismus, bei denen ganze Bevölkerungsteile plötzlich zu Betroffenen werden, verlangen nach neuen Konzepten, um den Schutz der Bevölkerung zu realisieren. Der Katastrophenschutz, durch die Beendigung des Kalten Krieges und dem Aufbrechen der starren Machtblöcke, auf ein Minimum zurückgefahren, erlebt angesichts der neuen Bedrohungslage, ganz besonders im ABC-Bereich, eine Renaissance. Weder die notwendigen Konzepte noch die zur Verwirklichung benötigten finanziellen Ressourcen stehen zur Verfügung.

Nicht zuletzt der Sarin-Nervenkampfstoffanschlag in der U-Bahn von Tokio hat deutlich gezeigt, wie notwendig ein gut strukturiertes Gefahrabwehrmanagement und klare Führungs- und Kommunikationsstrukturen im Großschadensfall sind. Diese dürfen nicht nur in Form von Plänen in der Schublade liegen, sondern müssen in Übungen und Trainingseinheiten als Paradigmen in den Köpfe der Verantwortlichen und Helfer präsent werden.

Der Schutz der Helfer vor kontaminierten Patienten hat absolute Priorität. Dies führt in der Regel dazu, direkt an der Einsatzstelle, in adäquater persönlicher Schutzausrüstung, qualifizierte medizinische Versorgung und Dekontaminationsmaßnahmen durchzuführen.

Ein Konzept zur Dekontamination von verletzten Personen nach chemischen Zwischenfällen stellt die verschiedenen Einsatzkräfte der unterschiedlichen Organisationen vor zahlreiche Herausforderungen.

Im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsprojektes an der Universität Tübingen wurde ein organisatorisch praktikables Konzept hinsichtlich Aufbau und Ablauf einer zeitnahen Dekontamination und Notfallversorgung kontaminierter Verletzter beim Massenansturm von Verletzten mit Gefahrstoffen erarbeitet.



Eine vorausgegangene Literaturrecherche und die Analyse chemischer Gefahrstoffunfälle zeigten die Notwendigkeit zur Erarbeitung eines solchen Konzeptes. Hierbei wurden Verletzungsmuster analysiert und die möglichen Konsequenzen für die Dekontamination dargestellt. Die Anforderungen an ein System zur Dekontamination Verletzter wurden ermittelt und handelsübliche Systeme auf ihre Eignung geprüft. Bei der Planung des Konzeptes wurde darauf geachtet, dass existierende Standards und Algorithmen Verwendung finden. Die notwendigen Anforderungen an die Aus- und Fortbildung der Einsatzkräfte wurden definiert, zur abschließenden Validierung der Praktikabilität wurde eine Übung durchgeführt.

Alle Beteiligten bei einem Schadstoffunfall, ob verletzt oder unverletzt, die sich innerhalb des Gefahrenbereiches befinden, sind als potenziell kontaminiert zu betrachten. Verletzte werden nach einer entsprechenden Sichtung, falls erforderlich, erst medizinisch behandelt. Anschließend müssen sie dekontaminiert werden. Eine Dekontamination vor Ort ist notwendig, um nicht nur die Kontaminationsverschleppung zu vermeiden sondern:

- Eine weitere Einwirkung von Chemikalien auf den menschlichen Körper kann bei Verzögerung der Dekontamination zu weiteren Schäden des Patienten führen.
- Einsatzkräfte, die in Kontakt mit den Kontaminierten kommen, müssen vor den Chemikalien geschützt werden.
- Nachfolgende medizinische Versorgungseinheiten müssen frei von jeglicher Kontamination gehalten werden, da ansonsten die weitere Versorgung von Erkrankten und Verletzten (z. B. im Krankenhaus) massiv beeinträchtigt werden kann.

Zusammenfassend muss gefolgert werden, dass eine Verschleppung der Kontamination schwerwiegende Einflüsse auf die rettungsdienstliche sowie medizinische Infrastruktur und das „Outcome“ der Verletzten haben kann.

### **Das Prinzip der Dekontamination von Verletzten hat folgende Grundsätze:**

- Sweeping-Triage
- frühes Entfernen der Kleidung (wesentliche Dekon-Maßnahme)
- Identifikation, Kontrolle und Management von Wertgegenständen

- Dekon-Triage
- Spot-Dekontamination, evtl. Antidotgabe, Basic Life Support und Wundversorgung
- sowie Ganzkörper-Dekontamination entsprechend der Triagekategorie

Die Zusammenarbeit an den Schnittstellen und eine klare Aufgabenzuteilung zwischen Feuerwehr (Dekontamination) und Rettungsdienst (Triage und Behandlung) sind notwendig. Bei der Dekontamination wird auf bereits vorhandene Ressourcen wie z. B. das Dekon-P-Fahrzeug und die Messtechnik des ABC-Erkunders zurückgegriffen. Eine feuerwehr-technische und rettungsdienstliche Ergänzung des Inventars ist jedoch notwendig.

Ein Problembereich bleibt der Kontaminationsnachweis zur Überprüfung der erfolgreich durchgeführten Dekontamination. Ein suffizienter Kontaminationsnachweis am Patienten ist bisher gerätetechnisch im B- nicht und im A- und C-Fall nur eingeschränkt möglich. Hier müssen die Verfahren und die entsprechende Messtechnik dringend an die neuesten technischen Möglichkeiten angepasst bzw. technisch weiterentwickelt werden.

Das Konzept ist modular angelegt, so dass mit Aufstockung der Ressourcen eine große Anzahl von Verletzten versorgt werden kann.


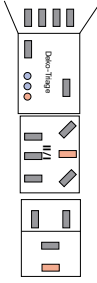
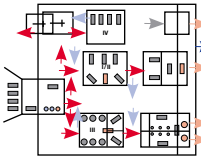
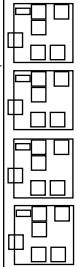
Anzahl Verletzte	1 – 5	5 – 20	20 – 50	50 – 200	>200
Zuständigkeit	Gemeinde	Landkreis	Landkreis/ mehrere Landkreise	Bundesland	Bund
Konzept					Dekon MANV  Entkleiden; mit Wasser abspülen, z.B. Hydro- schild, Wasser- werfer, stationäre Dekon- sprinkler- anlage
Bemerkung	Individual- medizin	Individual- medizin mit Einschrän- kungen	Individualmedizin mit Ein- schränkungen	Individual- medizin mit Einschrän- kungen, <b>Vorlauf notwendig</b>	1. Hilfe - Selbsthilfe, keine Individual- medizin

Abb. 53: Übersicht Dekonkonzepte (Quelle: Rainer Wenke)

Es stellt jedoch hohe Anforderungen an das Personal (Feuerwehr, Rettungsdienst, erweiterter Rettungsdienst und beteiligte Katastrophenschutzteams) und beinhaltet das Arbeiten in definierter Schutzkleidung. Gerade dieser Punkt erschwert besonders im medizinischen Bereich das Durchführen der notwendigen Maßnahmen.

Die Dauer bis zur Einsatzbereitschaft der Einsatzkräfte ist als ein weiterer kritischer Faktor zu sehen. Hier ist in verschiedenen Stufen modular vorzugehen. Feuerwehr und zuerst eintreffender Rettungsdienst müssen in die Lage versetzt werden, mit Standardausrüstung die notwendigen Basis-Dekontaminationsmaßnahmen unter gleichzeitiger medizinischer Erstversorgung durchzuführen.

Das Konzept beinhaltet, dass 72 Hilfskräfte der Feuerwehr und des Rettungsdienstes im kontaminierten Bereich in 90 Minuten etwa 50 kontaminierte Verletzte erstversorgen und dekontaminieren können. Durch den modularen Aufbau des Konzeptes ist eine Erweiterung bzw. Reduzierung auf eine höhere bzw. geringere Kapazitätsanzahl von Verletzten möglich.

Spezielle Ausbildung und regelmäßige Schulungen für die Einsatzkräfte sind notwendig, Ausbildungs- und Trainingskonzepte müssen entwickelt und implementiert werden. Eine flächendeckende Versorgung ist derzeit nicht zu realisieren. Eine Risikoanalyse zur Verteilung der limitierten Ressourcen ist daher erforderlich. Die föderalistischen Strukturen im Katastrophenschutz in den einzelnen Bundesländern dürfen die Umsetzung nicht behindern. Die gesetzlichen Grundlagen müssen das Prinzip eines integrierten Brandschutz/Rettungsdienst- und Hilfeleistungssystems anstreben.

Die Ausarbeitung des Konzeptes zeigt, dass in einigen Bereichen des Managements von Gefahrstoffzwischenfällen Gemeinsamkeiten zwischen biologischen, chemischen und atomaren Fragestellungen bestehen. Dennoch sind getrennte Konzepte unseres Erachtens erforderlich. Nur so kann eine effiziente und adäquate Hilfe sichergestellt werden.

Weiterhin sollte die Frage der Dekontamination an Krankenhäusern geklärt werden. Bei einem Massenanfall von Verletzten kann ein Teil der Patienten unkontrolliert im Krankenhaus eintreffen, das medizinische Fachpersonal gefährden und die medizinische Infrastruktur stark beeinträchtigen.

Bei der geplanten Implementierung des Konzeptes ist es sinnvoll, zunächst auf der Stufe 4 des ausgewiesenen staatlichen Sonderschutzes nach der Definition des Bundesinnenministeriums zu beginnen; d. h. ähnlich den über das Bundesgebiet verteilten sieben Kompetenzzentren für biologische Schadensfälle sollten Task Force-Einheiten für diese Thematik aufgestellt und einsatzbereit gehalten werden. Dabei ist dafür zu sorgen, dass diese Einheiten mobil (wenn möglich luftverlegbar) aufgebaut und durch eine entsprechend ausgestattete analytische Komponente ergänzt werden.

## Literaturhinweise

Siehe auch:

[http://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/  
Publ\\_magazin/Sonderausgabe/Dekontamination\\_Verletzter.pdf?\\_\\_  
blob=publicationFile](http://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/Publ_magazin/Sonderausgabe/Dekontamination_Verletzter.pdf?__blob=publicationFile)

*In Memoriam an unseren Freund Thomas Hädinger, der leider viel zu früh starb.*



## 4.7 Versorgung, Ausschleusung, Transport und Bestattung von hoch kontagiösen Verstorbenen

*Alfred Riepertinger*

### 4.7.1 Zusammenfassung

Hoch kontagiöse Krankheiten sind in Europa bzw. der Bundesrepublik Deutschland ausgesprochen selten, jedoch mit einer sehr hohen Letalität behaftet. Diese schwankt von circa 20 Prozent bei Lassafieber bis zu 90 Prozent bei Ebolafieber. Nach Ansicht von Experten ist der Import von gemeingefährlichen Infektionskrankheiten jederzeit möglich. Die Eintrittswahrscheinlichkeit für eine bioterroristische Attacke mit hoch kontagiösen Infektionserregern ist zwar gering, das Schadenspotenzial bei einem eventuellen Anschlag jedoch immens. Die im Umgang mit hochinfektiösen Verstorbenen auftretenden Probleme in oder der Überführung nach Deutschland und während deren Versorgung und Bestattung sind nach den letzten Erfahrungen im Jahre 2000 noch nicht gelöst.

Aus diesem Grund wurde von Herrn Siegfried Ippisch vom Gesundheitsamt Erding in Zusammenarbeit mit einem großen Bestattungsunternehmen in Bayern und unserem Institut für Pathologie im Januar 2002 ein Pilotprojekt initiiert, das die Versorgung von hoch kontagiösen Verstorbenen als Schulungsziel hat. In Form von Planbesprechungen wurden drei Szenarien diskutiert und festgelegt, wobei eines im Rahmen einer Übung 2004 geprobt wurde.

**Szenario 1** simuliert die Feststellung des Todes eines Patienten, welcher an einer hoch kontagiösen Erkrankung auf einer Isolierstation verstorben ist:

Der Arzt füllt die Todesbescheinigung aus. Unverzögliche Benachrichtigung der Angehörigen innerhalb weniger Stunden und Erläuterung der Notwendigkeit der zügigen Vornahme einer Feuerbestattung. Pathologie stellt zwei flüssigkeitsdichte Leichenhüllen (grau/weiß), zwei Tücher zum Tränken mit zehnpromzentiger Formalin-Lösung und das Absorbens Ardol® bereit und koordiniert die Abholung durch den Bestatter.

Der Verstorbene wird mit dem Absorbens bestreut, in die formalinetränkten Tücher gewickelt und in die Leichenhüllen (grau innen, weiß außen) gelegt. Beide Hüllen werden wischdesinfiziert und schlussendlich dem Bestatter zur Einsargung übergeben, der Sarg mit dem Hinweis „infektiös“ gekennzeichnet und versiegelt. Direkte Fahrt zum Krematorium unter behördlicher Überwachung (Polizei).

**Szenario 2** simuliert die Feststellung des Todes eines Patienten mit dem Verdacht auf eine hoch kontagiöse Erkrankung an einem Ort einer Großstadt bzw. im Rettungscontainer der Feuerwehr. Praktische Übung: Innerhalb der Stadtgrenze Münchens wird ein Notfallpatient mit typischen Symptomen eines virulenten hämorrhagischen Fiebers (VHF) aufgefunden. Ein Spezialfahrzeug der Berufsfeuerwehr holt ein Ärzteteam der Isolierstation (Krankenhaus Schwabing) ab und übernimmt den Transport und die Versorgung des Patienten, der auf dem Weg in die Sonderisolierstation verstirbt.

In Zusammenarbeit mit der Bundeswehr, der Berufsfeuerwehr München, des Instituts für Rechtsmedizin der Universität München, der Staatsanwaltschaft München, der Städtischen Bestattung, der Trauerhilfe Denk, der Leitung des Krematoriums München Ostfriedhof, der Gesundheitsbehörden München und Erding sowie dem Institut für Pathologie des KMS wurden geübt: Absperrungs- und Desinfektionsmaßnahmen, Vornahme der äußeren Leichenschau und die Blutentnahme zur Diagnosesicherung, Ausschleusen und Verpacken des infektiösen Materials, An- und Ablegen der persönlichen Schutzausrüstung, adäquate Versorgung des Leichnams, Transport ins Krematorium und unverzügliche Einäscherung.

**Szenario 3** simuliert das Ankommen eines hochinfektiösen Leichnams am Flughafen München II in einer Flugtruhe aus dem Ausland (Endemiegebiet). Überführung der Flugtruhe unter behördlicher Überwachung (Polizei) zum nächstgelegenen Krematorium (Ostfriedhof München) und Hinterstellung des Sarges bei  $-25^{\circ}\text{C}$  über drei bis vier Tage. Einwickeln in formalinetränkte Tücher und Entnahme des gefrorenen Leichnams aus der Flugtruhe. Verbringung des Leichnams in zwei Leichenhüllen (grau innen, weiß außen) und Wischdesinfektion beider Hüllen. Einsargung und sofortiger Transport in das Krematorium zur Einäscherung.



Hoch kontagiöse Krankheiten sind in Europa bzw. der Bundesrepublik Deutschland ausgesprochen selten, jedoch mit einer sehr hohen Letalität behaftet. Diese schwankt von circa 20 Prozent bei Lassa-Fieber bis zu 90 Prozent bei Ebola-Fieber.

Nach Ansicht von Experten ist der Import von gemeingefährlichen Infektionskrankheiten jederzeit möglich. Die Eintrittswahrscheinlichkeit für eine bioterroristische Attacke mit hoch kontagiösen Infektionserregern ist zwar gering, das Schadenspotenzial bei einem evtl. Anschlag jedoch immens. Die im Umgang mit hochinfektösen Verstorbenen auftretenden Probleme in Deutschland oder während der Überführung nach Deutschland und deren Versorgung und Bestattung sind nach den Erfahrungen im Jahre 2000 noch nicht bzw. noch nicht befriedigend gelöst.

Die Fachgruppe Seuchenschutz unter Leitung von Prof. Fock hat sich bereits im erwähnten Jahr 2000 im Bundesgesundheitsblatt zum Thema geäußert. „Besondere Schwierigkeiten treten nach den letzten Erfahrungen, z.B. bei der Bestattung eines an einem virulenten hämorrhagischen Fieber (VHF) Verstorbenen, auf.“ (Fock 2000)

Auch Prof. Fleischer betont aus der Erfahrung bei der Behandlung einer verstorbenen Lassa-Patientin, dass eine ansteckungssichere Einsargung von verstorbenen hoch kontagiösen Patienten für die empfohlene Feuerbestattung logistisch schwierig sei und dass es klarer und umsetzbarer Zuständigkeiten bedürfe, um Verzögerungen zu vermeiden.<sup>1</sup> Seit 1974 sind vier importierte Lassafälle in Deutschland aufgetreten, zwei davon verliefen tödlich. Aufgrund der Würzburger Erfahrungen im Jahr 2000 wurde von Herrn Siegfried Ippisch vom Gesundheitsamt Erding in Zusammenarbeit mit dem Bestattungsunternehmen TrauerHilfe Denk, das für die Überführungen von sog. Polizeileichen und damit auch für den Flughafen München II zuständig ist, und unserem Institut für Pathologie des Klinikums München-Schwabing im Januar 2002 ein Pilotprojekt initiiert, das die Versorgung von hoch kontagiösen Verstorbenen als Schulungsziel hat.

---

1 Vortrag von Prof. Fleischer „Nach Deutschland eingeschleppte hochkontagiöse Virusinfektionen. Der Lassa Fall in Würzburg und was wir daraus lernen können“, Veranstaltung der Abteilung für Infektions- und Tropenmedizin der LMU München: Reisemedizin aktuell – 2000 am 10. Mai 2000 in München.

Im Vordergrund stand die Versorgung von hochinfektiösen Verstorbenen, die per Flugtransport aus dem Ausland am Flughafen München II eintreffen.

Berücksichtigt man Ankunft, Abflug und Transfer, passieren den Flughafen München II jährlich ca. 5000 Verstorbene! Da jeder Leichnam, der aus dem Ausland auf dem Flughafen München eintrifft, von der Staatsanwaltschaft beschlagnahmt wird, haben wir im Dezember 2004 ebenfalls die Mitarbeiter des Instituts für Rechtsmedizin in Bezug auf die Schutzmaßnahmen unterrichtet. Bis heute hat sich zusammen mit den Initiatoren ein Verbund aus weiteren Institutionen und Behörden wie z. B. dem Gesundheitsamt München, dem Institut für Rechtsmedizin, der Berufsfeuerwehr München und der Friedhofsverwaltung in Union mit der Städtischen Bestattung München herausentwickelt, die auch im regionalen Kompetenzzentrum München integriert sind.

Vom regionalen Kompetenzzentrum München unter Federführung der leitenden Medizinaldirektorin des Gesundheitsamtes München, Frau Dr. P. Graf, wurden in Form von Planbesprechungen drei Szenarien diskutiert und zwei davon festgelegt, wobei eine Übung im Rahmen der zivil-militärischen Zusammenarbeit „Hurtiger Hippokrates“ am Klinikum München-Schwabing (KMS) im April 2004 abgehalten wurde und nachfolgend im Szenario 2 beschrieben wird.

**Szenario 1** simuliert die Feststellung des Todes eines Patienten, welcher an einer hoch kontagiösen Erkrankung auf der Isolierstation des Klinikums Schwabing verstorben ist.

**Szenario 2** simuliert die Feststellung des Todes eines Patienten mit dem Verdacht auf eine hoch kontagiöse Erkrankung an einem Ort einer Großstadt bzw. im Rettungscontainer (Infektmobil) der Feuerwehr.

**Szenario 3** simuliert das Ankommen eines hochinfektiösen Leichnams am Flughafen München II in einer Flugtruhe aus dem Ausland (Endemiegebiet).

Angedacht werden in **abgewandelter Form Szenario 3, bei beschädigter Flugtruhe**, und die **Maßnahmen im Katastrophenfall (Bioterrorismus)** mit einer zwei- bis dreistelligen Anzahl von Verstorbenen.

**Szenario 1**, das die Feststellung des Todes eines Patienten simuliert, welcher an einer hoch kontagiösen Erkrankung auf der Isolierstation des Klinikums Schwabing verstorben ist:

In diesem Fall füllt der dort tätige Arzt die Todesbescheinigung aus. Die Benachrichtigung der Angehörigen muss innerhalb weniger Stunden erfolgen, da vom Verstorbenen ein Infektionsrisiko ausgeht und mit zunehmender Liegezeit des Leichnams steigt.

Mediziner der Sonderisolierstation und ein Vertreter der Gesundheitsbehörde müssen den Angehörigen und anderen Betroffenen die Notwendigkeit für eine zügige Vornahme der Feuerbestattung erläutern. Eine offene Abschiednahme kann nicht ermöglicht werden.

**Die Rechtsgrundlage** für diese Vorgehensweise stellt das Infektionsschutzgesetz (IfSG), insbesondere der § 28 dar: „Werden Kranke, Krankheitsverdächtige, Ansteckungsverdächtige oder Ausscheider festgestellt oder ergibt sich, dass ein Verstorbener krank, krankheitsverdächtig oder Ausscheider war, so trifft die zuständige Behörde (in der Regel die Kreisverwaltungs-, bei Gefahr im Verzug die Gesundheitsbehörde) die notwendigen Schutzmaßnahmen.“

## Pathologie

Der Arzt der Sonderisolierstation meldet den Tod auch an das Institut für Pathologie, das die Abholung mit dem Bestattungsunternehmen koordiniert. Zur Vorbereitung wurden die notwendigen Utensilien wie zwei Tücher zum Tränken mit Formalin-Lösung, zwei flüssigkeitsdichte Leichenhüllen (grau und weiß) und das Absorbens Ardol<sup>®</sup> zur Versorgung des Leichnams geliefert. Die Körperöffnungen Anus und ggf. Vagina müssen zur Vermeidung von Flüssigkeitsaustritt mit Tampons versehen werden. Anschließend wird der Leichnam vorrangig im Bereich der Körperöffnungen wie Mund, Nase und Ohren mit ca. 1 kg des Absorbens Ardol<sup>®</sup> bestreut. Der Leichnam wird in zwei mit zehnprozentiger Formalin-Lösung getränkte Tücher eingeschlagen und in die erste bereit gelegte, graue Leichenhülle (so genannter Bodybag) verbracht (Abb. 54). Diese wird verschlossen, mit flüssigkeitsdichtem Chem-Tape verklebt und mit vierprozentiger Dismozon-Lösung wischdesinfiziert.



Abb. 54: Einlegen des Verstorbenen in die (innere) graue Leichenhülle (Quelle: Siegfried Ippisch, Landratsamt Gesundheitsamt Erding)

Nach einer Stunde Einwirkzeit wird der Verstorbene in eine zweite, weiße Leichenhülle gelegt, diese verschlossen, der Verschluss mit Chem-Tape abgeklebt und wiederum wischdesinfiziert. Die Unterscheidung der zwei Leichenhüllen in grau, immer für innen, und weiß, immer für außen, soll signalisieren, dass weiß als Zeichen für REIN steht!

## Bestattungsinstitut

Mit diesen Sicherheitsvorkehrungen wird der Verstorbene in den Sarg verbracht. Nach § 12 Satz 1 der Bay. BestV darf die Leiche nur in einem fest verschlossenen, widerstandsfähigen und gut abgedichteten Holzsarg befördert werden, dessen Boden mit einer ausreichend hohen Schicht aufsaugender Stoffe bedeckt ist. Der Gesetzgeber gibt allerdings keine genaue Höhe der Stoffe an, was bei Bestattern teilweise Unsicherheit verursacht. In einem entsprechenden Versuch unseres Institutes sind wir zu dem Ergebnis gekommen, dass die Schicht aus Hobelspänen oder Sägemehl zwischen 5 cm und 10 cm betragen sollte. Zusätzlich soll der Sargboden mit einer verrottbaren, aber flüssigkeitsundurchlässigen Folie, bis mindestens in Höhe des Bodenpolsters (5 cm bis 10 cm) ausgelegt sein. Der Verstorbene wird eingesargt, der Sarg fest verschlossen und bereits vor Ort versiegelt. Dies geschieht in der Regel erst im Krematorium nach offizieller Freigabe zur Feuerbestattung. Die Stirnseite des Sargdeckels wird mit der Kennzeichnung „infektiös!“ beschriftet, der Unterteil mit den Personalien des Verstorbenen.

Durch die Vorsorgemaßnahmen mit den zwei Bodybags sind ab dem Zeitpunkt der zweiten Desinfektion spezielle persönliche Schutzausrüstungen für Bestattungs- und Hilfspersonal nicht mehr erforderlich. Jedoch ist eine entsprechende Beratung, Anleitung und Aufklärung der Mitarbeiter des Bestattungsunternehmens unerlässlich, um Vorbehalte und Ängste seitens des Personals auszuräumen.

## Transport

Der Transport eines hochinfektiösen Leichnams darf nur unter behördlicher Überwachung erfolgen. Diese kann auf die Polizei übertragen werden, da sie über entsprechende Fahrzeuge, Kommunikationsmittel und Befugnisse zur Sicherung verfügt. Eine Öffnung des Sarges ist nicht mehr zulässig. Die Entfernung vorhandener Implantate ist zu unterlassen. Eine unverzügliche Verbrennung des Sarges mit dem Leichnam im nächstgelegenen Krematorium ist anzustreben. Überführungen von an gemeingefährlicher Erkrankung verstorbenen Personen in das Ausland sind zu vermeiden.

Der Zwang zur unverzüglichen Feuerbestattung ohne Beurkundung wird in der Mitteilung des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz vom 10.05.2004, folgend formuliert: „Sofern aus infektionshygienischen Gründen eine Feuerbestattung zwingend notwendig ist, geht eine entsprechende, auf § 28 IfSG gestützte Anordnung der zuständigen Kreisverwaltungsbehörde dem Willen der in § 18 Abs. 1, Nr. 3 bzw. Abs. 3 Bestattungsverordnung (BestV) Genannten vor. Dabei kann, „wenn gesundheitliche Gefahren zu befürchten sind“, ein früherer als der in Abs. 1 BestV vorgeschriebene Bestattungszeitpunkt zugelassen (§ 18 Abs. 2 Nr. 3 BestV) beziehungsweise erforderlichenfalls angeordnet werden (§ 28 IfSG geht insoweit dem § 18 Abs. 3, BestV vor).

Ist in der Todesbescheinigung „natürlicher Tod“ angekreuzt, so dürfte regelmäßig kein Hinderungsgrund für die Polizeidienststelle bestehen, unter Berücksichtigung der besonderen Umstände im Eilfall die nach § 17 Abs.1 Nr. 2 BestV vorgeschriebene Bestätigung unverzüglich (per Fax oder E-Mail) auszustellen. Entsprechendes gilt hinsichtlich der gemeindlichen Genehmigung nach § 39 PStG (§ 17 Abs. 1, Nr. 1 i. V. mit § 16 Abs. 1 Nr. 2 BestV), dass der Verstorbene schon vor der Beurkundung bestattet werden darf.“

## Diagnostik bei Leichenschau

Sollte beim Versterben des Patienten die Todesursache noch unklar sein, jedoch ein dringender Verdacht auf Tod an einer Infektion der Sicherheitsstufe 4 bestehen, erfolgt die Entnahme von Proben, wie Kardialblut, Punktaten etc., die für die Diagnostik (L4-, L3-Erreger) zu gewinnen und gemäß einschlägiger Gefahrguttransportbestimmungen zu verpacken, auszuschleusen sowie an die festgelegten Laboratorien zur Diagnostik für gemeingefährliche Erreger zu versenden sind.

Einen weiteren Sonderfall stellt der zusätzliche Verdacht auf unnatürlichen Tod dar. Hier wäre zusätzlich an eine Untersuchung auf Giftstoffe zu denken und gegebenenfalls eine innere Leichenschau nach Ausschluss einer Infektion mit gemeingefährlichen Erregern anzuschließen. Wenn der Ausschluss einer solchen Infektion nicht erfolgt ist, darf eine innere Leichenschau (Autopsie) nur unter den entsprechenden Schutzbedingungen erfolgen.

Nach Aussage des Vorstandes des Instituts für Rechtsmedizin der Universität München, Herrn Prof. W. Eisenmenger, muss bei einem Anschlag mit terroristischem Hintergrund von der Anordnung einer Autopsie durch die Staatsanwaltschaft ausgegangen werden.

**Szenario 2** simuliert die Feststellung des Todes eines Patienten mit dem Verdacht auf eine hoch kontagiöse Erkrankung an einem Ort einer Großstadt bzw. im Rettungscontainer der Feuerwehr. Praktische Übung: Innerhalb der Stadtgrenze Münchens wird ein Notfallpatient mit typischen Symptomen eines virulenten hämorrhagischen Fiebers (VHF) aufgefunden.

Ein Spezialfahrzeug (Infektmobil) der Berufsfeuerwehr holt ein Ärzteteam der Isolierstation des Klinikums Schwabing ab und übernimmt den Transport und die Versorgung des Patienten, der auf dem Weg in die Sonderisolierstation ver stirbt.

Dieses Sonderfahrzeug der Feuerwehr ist ursprünglich für adipöse Patienten vorgesehen, die mit einem standardisierten Rettungsfahrzeug nicht transportiert werden können. In der bereits erwähnten Mitteilung des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz ist hier auch die Genehmigung für den Transport für hochinfektiöse Patienten mit dem

Hinweis erteilt worden: „Mit der geplanten Vorgehensweise, bei einem an einer gemeingefährlichen übertragbaren Krankheit Verstorbenen im Interesse des Gesundheitsschutzes den Transport mit dem so genannten „Infektmobil“ durchzuführen, besteht Einverständnis.“

In Zusammenarbeit mit der Bundeswehr, der Berufsfeuerwehr München, des Instituts für Rechtsmedizin der Universität München, der Staatsanwaltschaft München, der Städtischen Bestattung, der TrauerHilfe Denk, der Leitung des Krematoriums München Ostfriedhof, der Gesundheitsbehörden München und Erding sowie dem Institut für Pathologie des KMS wurden geübt:

Absperrungs- und Desinfektionsmaßnahmen, Vornahme der äußeren Leichenschau und die Blutentnahme zur Diagnosesicherung, Ausschleusen und Verpacken des infektiösen Materials, An- und Ablegen der persönlichen Schutzausrüstung, adäquate Versorgung des Leichnams, Transport ins Krematorium und unverzügliche Einäscherung.

## **Übung zu Szenario 2:**

### *Vorbereitung*

Auf einer mit Plastikplanen ausgelegten Bodenfläche von ca. 25 m<sup>2</sup> wurden alle benötigten Geräte, Lösungen und Ausrüstungsgegenstände bereitgestellt. Den Krankencontainer des „Infektmobils“ der BF München platzierte man angrenzend an die in eine „schwarze“, „graue“ und „weiße Zone“ eingeteilte Bodenplanen.

Im Bereich der „schwarzen Zone“ platzierte man zusätzlich eine 1,5 m x 1,5 m große Spezialmatte mit einem verstärkten Boden, einem saugfähigen Fließ und einem Randwulst zur Rückhaltung von Flüssigkeit. Darauf wurden die Schutzanzüge mit Desinfektionslösung wischdesinfiziert. Weiter wurden ein 60-l-Fass für die kontaminierten Abfälle (z.B. Schutzanzüge) und eine 20-l-Wanne für die Desinfektionslösung (z.B. Dismozon vier Prozent) bereitgestellt. Auf einer Leichenbahre aus Metall, die mit einer Plastikplane bedeckt war, wurde eine feste, gas- und flüssigkeitsdichte silbergraue Leichenhülle bereitgelegt.

Für die „schwarze Zone“ wurden ein 5-l-Eimer mit zehnpromzentiger Formalin-Lösung, zwei Leichentücher zum Tränken, eine 1-kg-Dose des Absorbens Ardol® zum Bestreuen des Leichnams und ein spezieller Transportbehälter zur Aufnahme von Blut- oder Gewebeproben vorbereitet.

Im Bereich der „grauen Zone“ waren zwei weitere 60-l-Fässer für kontaminierte Abfälle sowie eine Schachtel mit Nitrilhandschuhen platziert. Auf einer zweiten Metallbahre, ebenfalls mit einer Plastikplane abgedeckt, wurde eine feste und etwas größere weiße Leichenhülle vorbereitet.

Die farblich unterschiedlichen Hüllen sind kennzeichnend für die innere und äußere Ebene.

In der „weißen Zone“ wurde eine Recycling-Tonne zum Sammeln der gebrauchten Desinfektionslösungen bereitgestellt.

### *Schutzausrüstung*

Ein Problem ergab die Zusammenstellung der Ausrüstung, die mangels geeigneter Schutzanzüge aus vier verschiedenen Typenreihen herangezogen werden musste. Die zwei Anzüge mit Vollgesichts-Filtermasken der in der „schwarzen Zone“ arbeitenden Präparatoren der Pathologie waren völlig ungeeignet: Zum einen der Seuchenschutzanzug T 35 mit integrierten Füßlingen, ein robustes Modell, das zum Nachteil des Trägers nicht atmungsaktiv ist. Dazu eine Vollgesichts-Filtermaske, die mit der Kopfhäube komplett mit Chem-Tape verklebt wurde, wie auch die Nitrilhandschuhe mit den Ärmeln. Darunter wurden nochmals Füßlinge und ein Paar Nitrilhandschuhe getragen. Zum anderen kam ein gas- und flüssigkeitsdichter CSA-Schutzanzug mit Filter-Vollgesichtsmaske zum Einsatz. Am Schutzanzug integriert waren feste Gummihandschuhe und -stiefel.

Durch das rasche und konstante Beschlagen der Maskenscheiben bei beiden Schutzanzügen war ein sicheres und ungehindertes Arbeiten nicht möglich.

Die Ärztin des Instituts für Rechtsmedizin, agierte in einem Schutzanzug Astro C mit integrierten Nitril-Virenschutzhandschuhen und der Gebläseein-



heit Scott Pro Flow. Die äußeren Schuh-Füßlinge mit fester Sohle gewährten ein sicheres Gehen innerhalb der Infektionszone.

Zur Ausrüstung der Rechtsmedizinerin gehörte auch ein Diktiergerät, das in einem Aquapack an einer Kordel um den Hals getragen wurde. Das „Bestatter-Team“ der TrauerHilfe Denk in der „grauen Zone“ trug NUFAB NNE 44-Seuchen-Schutzanzüge, FFP 3-Masken und Schutzbrillen. Das „Bestatter-Team“ der Städtischen Bestattung in der „weißen Zone“ benötigte nur prophylaktisch Einmal-Schutzhandschuhe.

### *Vorgehensweise*

Zuerst wurde die Besatzung des „Infektmobils“ ausgeschleust. Am Übergang „schwarze Zone“ zur „grauen Zone“ nahm der als „Springer“ tätige Präparator der Pathologie die Wischdesinfektion mit vierprozentiger Dismozon-Lösung vor. Die BF-Besatzung legte die Schutzanzüge in blaue 60-l-Fässer ab und verließ durch die „weiße Zone“ das Areal.

Anschließend begaben sich die Rechtsmedizinerin und der zweite Präparator in das Infektmobil zur äußeren Leichenschau sowie einer Blutentnahme, die mittels einer speziellen Versandbox dem Kollegen zur Desinfektion in die „graue Zone“ und der weiteren Ausschleusung übergeben wurde.

Der „Verstorbene“ wurde zuerst von allen Seiten begutachtet, anschließend wurde eine „Blutprobe“ entnommen. Nach Abschluss der Leichenschau wurde der Körper mit 1 kg des Absorbens Ardol<sup>®</sup> bestreut und in zwei mit zehnprozentiger Formalin-Lösung getränkte Leichentücher gewickelt. Den so vorbereiteten Leichnam hob man auf die – im „schwarzen Bereich“ – geöffnete, silbergraue gas- und flüssigkeitsdichte Leichenhülle, die auf einer bereitgestellten Metallbahre lag. Die Hülle wurde nach dem Verschließen mit einer vierprozentigen Dismozon-Lösung wischdesinfiziert und nach der entsprechenden Einwirkzeit in die „graue Zone“ weitertransportiert. Dort hob das erste Bestatter-Team den Verstorbenen in der desinfizierten Leichenhülle in die zweite, ebenfalls auf einer Metallbahre vorbereitete weiße Hülle.

Das Verschließen und die Wischdesinfektion mit vierprozentiger Dismozon-Lösung erfolgte durch den „Springer“, gleich dem Prozedere im „schwarzen

Bereich“. Nach Ablauf der Einwirkzeit wurde der – sich nun in zwei Leichenhüllen befindliche – Verstorbene in die „weiße Zone“ geschoben und dem zweiten Bestatter-Team zur Einsargung übergeben. Auf die äußere Hülle wurde ein Etikett mit den Daten des Verstorbenen aufgeklebt, ebenso an der Kopfseite des Unterteiles des Sarges. Der Sargdeckel wurde mit einem Aufkleber „infektiös“ gekennzeichnet. Die Leiche in den Hüllen wurde in den Sarg gelegt, der Deckel aufgesetzt, verschraubt und mit amtlichen Etiketten der Friedhofsverwaltung versiegelt.

In der Zwischenzeit wurde die leichenschauende Ärztin der Rechtsmedizin und der Präparator aus der „schwarzen Zone“ vom „Springer“ aus der „grauen Zone“ mit vierprozentiger Dismozon – Lösung wischdesinfiziert. Dann erfolgte das gegenseitige Ausziehen der Schutzanzüge sowie der restlichen Einmal-Schutzausrüstung und Ablegen derselben in die vorbereiteten 60-l-Fässer.

Die Gebläseeinheit wurde in einen Behälter mit der gleichen Desinfektionslösung eingelegt, ebenso das Aquapack mit dem Diktiergerät der Ärztin. Das Auskleiden des Bestatter-Teams in der „grauen Zone“ erfolgte auf die gleiche Weise, wobei das Desinfizieren der Schutzanzüge unterblieb. Nach Ablauf der Einwirkzeit der Desinfektionslösung konnten die Schutzausrüstungen gereinigt bzw. entsorgt werden.

Der Sarg mit der Leiche wurde in den, in der „weißen Zone“ bereitstehenden Bestattungswagen geladen und in Begleitung eines Polizeifahrzeuges – im Auftrag des Gesundheitsamtes München – zum Krematorium am Ostfriedhof überführt.<sup>2</sup> Hier angekommen standen bereits die Dienst habenden Mitarbeiter parat, um den Sarg unverzüglich in den vorbereiteten Ofen zur Kremation einzufahren.

**Szenario 3** simuliert das Ankommen eines hochinfektiösen Leichnams am Flughafen München II in einer Flugtruhe auch Flugtransportsarg aus dem Ausland (Endemiegebiet). Das hat insofern Bedeutung, da nach dem noch immer gültigen internationalen Abkommen über Leichenbeförderung vom 10.2.1937 bisher nur die Überführung von Personen, die an Pest, Cholera, Pocken oder

2 Da die Versorgung eines hochinfektiösen Leichnams im Einsatzfall im Werkhof des Krematoriums am Ostfriedhof vorgenommen werden würde, wäre die Überführung mit einem Bestattungsfahrzeug nicht notwendig.

Flecktyphus verstorben sind, reglementiert ist und diese frühestens ein Jahr nach dem Todesfall erlaubt ist.

Das Übereinkommen über die Leichenbeförderung vom 26.10.1973 schreibt in Artikel 6, Ziffer 2 nur vor, dass wenn der Tod auf eine ansteckende Krankheit zurückzuführen ist, die Leiche in ein mit einer antiseptischen Lösung durchtränktem Tuch eingewickelt werden muss.



Abb. 55: Flugtruhe mit Zinkeinsatz  
(Quelle: Siegfried Ippisch, Landratsamt Gesundheitsamt Erding)

Die Bestimmungen der Luftverkehrsgesellschaften schreiben für die Leichenbeförderung auf dem Luftweg vor, dass der Verstorbene in einem Metallsarg (Zink) zu transportieren ist. Dieser ist luftdicht zu verlöten und in einem Holz-sarg derart zu befestigen, dass er sich nicht bewegen kann. (Abb. 55). Weiter ist dieser als normales Frachtgut zu verpacken. Das Problem bei der Ankunft in Deutschland besteht darin, dass der hochinfektiöse Leichnam aus dem Flug-transport-sarg in einen genormten Holz-sarg zur Feuerbestattung umgesargt werden muss.

### **Warum muss ein Leichnam aus einer Flugtruhe zur Bestattung umgesargt werden?**

Der Einsatz einer Flugtruhe besteht in der Regel wie oben beschrieben aus Zink. Die Einäscherung eines solchen würde Probleme in Bezug auf den Umweltschutz aufwerfen. Zink entwickelt bei der Verbrennung bei 800 °C – 1000 °C eine sehr hohe Eigentemperatur und kann den Wärmetauscher in einem Krematorium außer Betrieb setzen, was wiederum zum Versagen der Filteranlage führen kann. Die Folge wäre der Ausstoß von ca. 200 Gramm reinen ungefilterten Zinkstaubes in die Außenluft.

Dies stellt einen Verstoß gegen das Immissionsschutzgesetz dar, was demzufolge die Einäscherung von Zinkeinsätzen auch nach der Bayerischen Bestattungsverordnung (§ 30 Abs. 1, Nr. 5, BestV) untersagt.

### **Vorgehensweise beim Umsargen einer VHF-Leiche aus einer Flugtruhe in einen Sarg im Umsargraum der Leichenhalle „Feuerbestattung“ am Ostfriedhof München**

Die Überführung des Flugtransportesarges wird unter behördlicher Begleitung durch die Polizei zum nächstgelegenen Krematorium am Ostfriedhof in München durchgeführt. Dort ist zuerst die Holzummantelung des Zinkeinsatzes zu entfernen und zu entsorgen. Erteilt die Staatsanwaltschaft aufgrund der vorliegenden Bescheinigungen des Verstorbenen eine Freigabe des Leichnams<sup>3</sup>, kann wie nachfolgend beschrieben verfahren werden.

Der Zinkeinsatz wird für drei bis vier Tage bei mindestens  $-25\text{ °C}$  tief gefroren, um die infektiösen Flüssigkeiten zu binden. In diesem Zeitraum ist die Ausstellung der weiteren behördlichen Bescheinigungen und Urkunden zu erledigen. Es erfolgt die Absprache mit den an der weiteren Versorgung des Leichnams beteiligten Institutionen und Personen sowie die Bereitstellung der benötigten Ausrüstung zur Umsargung.

Nach Ablauf der Gefrierphase wird ein Loch von 10 – 15 mm in eine der oberen Seitenecken des Zinkeinsatzes gebohrt und anschließend mit einem geeigneten Blechscheidewerkzeug von der Bohrung aus aufgeschnitten und das Seitenteil heruntergeklappt. Die Schnittstellen werden zum Schutz vor Verletzung, mit Virenschutz-Klebeband abgedeckt. Im Anschluss wird über den Leichnam ein in zehnpromzentiger Formalin-Lösung getränktes Tuch gelegt und dieser darin eingewickelt.

Lässt sich der Leichnam aufgrund ausgelaufener Leichenflüssigkeit, die diesen am Boden des Zinksarges festklebt, nicht herausheben, wird mit einem großen Spatel die Leiche gelöst. Ein zweites Tuch mit zehnpromzentiger Formalin-Lösung wird unter die Leiche geschoben und diese somit vollständig eingehüllt

---

3 Im Falle der Anordnung einer Autopsie durch die Staatsanwaltschaft wäre Vorsorge zu treffen, diese in einer dafür geeigneten Einrichtung durchzuführen, z. B. im „Infektomobil“ oder in einer mobilen „Biobox“.

In die getränkten Tücher gehüllt wird der Leichnam in die erste vorbereitete silbergraue gas- und flüssigkeitsdichte Leichenhülle gelegt. Diese wird verschlossen, der Reißverschluss mit Chem-Tape abgeklebt und von außen mit vierprozentiger Dismozon-Lösung wischdesinfiziert. Anschließend bettet man den Leichnam mit der ersten Hülle in einen zweiten vorbereiteten weißen Bodybag, verschließt diesen, verklebt den Reißverschluss mit Tape und desinfiziert mit Dismozon-Lösung. Die äußere Leichenhülle versieht man mit einem Aufkleber „infektiös“ und einem Aufklebeschild mit den Daten des Verstorbenen.

Zuletzt bettet man den Leichnam in den Hüllen in einen Holzsarg und verschließt diesen. Der Sarg wird mit zwei amtlichen Siegeln der Friedhofsverwaltung versehen, der Deckel mit einem Aufkleber „infektiös“ und das Sargunterteil mit einem Aufklebeschild, das die Personaldaten des Verstorbenen trägt.

Beim Umgang mit dem geschlossenen Sarg, der unmittelbar darauf mit einem Bestattungsfahrzeug von der Leichenhalle zur Feuerbestattung gefahren wird, ist keine Personenschutz-ausrüstung notwendig. Im Krematorium wird der Sarg mit dem hochinfektiösen Verstorbenen im gesicherten Kühlraum – verschlossen und alarmgeschützt – bis zum Auftauen des Leichnams bzw. bis zum nächstmöglichen Verbrennungstermin hinterstellt. Eine sofortige Einäscherung des gefrorenen Leichnams ist nicht möglich, da die Gefahr des Reißens der Schamottsteine des Verbrennungsofens besteht.

Das aufgeklappte Seitenteil der Flugtruhe wird zurückgedrückt und der Zinkeinsatz mit einem in vierprozentiger Dismozon-Lösung getränkten Tuch abgedeckt. Ist der Zinkeinsatz auf mindestens + 5 °C erwärmt (bei niedrigerer Temperatur ist die Desinfektion unwirksam), wird er komplett mit vierprozentiger Dismozon-Lösung wischdesinfiziert und anschließend wie üblich entsorgt. Im Anschluss erfolgt die übliche Raumdesinfektion.

**Szenario 3a** Ankommen eines hochinfektiösen Leichnams am Flughafen München II bei beschädigtem Flugtransportsarg. In diesem Fall ist der Einsatz der Flughafenfeuerwehr notwendig, die den Transportsarg aus dem Laderaum des Flugzeuges bergen muss. Das Passagiergepäck muss desinfiziert und mitgeführte Waren u. U. vernichtet werden. Sollte der von der Feuerwehr geborgene Flugtransportsarg in einer Schutzhülle – von außen desinfiziert – problemlos

transportiert werden können, wäre das weitere Vorgehen gleich dem, wie im Szenario 3 beschrieben.

### **Maßnahmen im Katastrophenfall (Bioterrorismus)**

Diese größte logistische Herausforderung macht die Einrichtung eines Krisenstabes notwendig, in den u. a. auch die Bundeswehr einzubinden ist. Das gesamte Einsatzgebiet, in welchem sich der Katastrophenfall ereignet hat und sich die kontaminierten Leichen befinden, ist großräumig abzuriegeln, ähnlich den Schutzmaßnahmen bei der Vogelgrippe oder Schweinepest.

Das Einsatzgebiet ist in drei Zonen – schwarz, grau und weiß – einzuteilen, die jeweils durch Absperrungen voneinander getrennt und markiert sind. Die Ausfahrt für Einsatzfahrzeuge muss jeweils durch Desinfektionsbecken oder Desinfektionsschleusen mit integrierter Sprühanlage führen. Der Abtransport der Leichen im zwei- bis dreistelligen Bereich ist in diesem Falle nicht mehr mit Bestattungsfahrzeugen möglich, sondern sollte mittels großer Kühlcontainer (ca. + 5 °C) per LKW erfolgen.

Dabei ist zu beachten, dass die Anzahl der Leichen so koordiniert wird, dass diese unmittelbar nach Eintreffen im Krematorium sofort eingäschert werden können. Je nach Standort des Einsatzgebietes müssen u. U. auch mehrere Krematorien angefahren werden. Die Ausrüstung und Vorgehensweise entspricht in großem Stil der Übung „Hurtiger Hippokrates 2004“.

### **Fazit – Ausblick – Zukunft**

Der Container-Aufbau des Sonderfahrzeuges „Infektmobil“ der BF München ist ca. dreißig Jahre alt und für die Versorgung von hochinfektiösen (VHF) Patienten bzw. Verstorbene nur bedingt geeignet. Beim derzeitigen Stand bzw. Zustand der zur Verfügung stehenden Ausrüstung müsste im Einsatzfall bei der Vorbereitung folgendes geändert werden:

Die auszulegende Bodenfläche muss um ca. 1 m in Breite und Länge vergrößert werden. Die Plastikplanen müssen aus stärkerem Material und in den Farben der jeweiligen „Zonen“ gehalten sein. Um Unebenheiten auszugleichen, ist der

Untergrund mit handelsüblichem Malerfließ auszulegen. Die Spezialmatten mit Fließ und Randwulst sollten in ihren Ausmessungen größer sein (2 m x 2 m) und neben der „schwarzen Zone“ auch in der „grauen Zone“ aufliegen. Zusätzlich muss die gesamte Zone mit Absperrband markiert, und durch gelbe Warnschilder auf Ständern mit dem Hinweis auf Biogefährdung und Infektionsgefahr ergänzt werden. 20-l-Desinfektionswannen (Dismozon vier Prozent) müssen sich in allen Zonen ebenso wie Nitrilhandschuhe befinden.

Dringend notwendig wäre es, eine mobile und individuell zu gestaltende Dekontaminations-Einheit anzuschaffen, die mit dem Fahrzeug der BF München kompatibel ist. Diese Einheit ist so zu konzipieren, dass ein optimales Ein- und Ausschleusen sowie Eingriffe an der Leiche (rechtsmedizinische Autopsie) unter L3/L4-Bedingungen möglich sind. Hervorragend geeignet wären die Moduleinheiten z. B. von Disc-O-Bed oder die Biobox EBXT-06. Die Betreuung der mobilen Moduleinheit sollte der BF München übertragen werden, da es logistisch sinnvoll ist. Diese mobile Hochinfektions-Versorgungseinheit wäre für die Landeshauptstadt München, den Landkreis München sowie für die angrenzenden Landkreise (u. a. den Flughafen München II) einsetzbar. Ob ein bayernweiter Einsatz in Frage käme, ist von den behördlichen bzw. politischen Entscheidungsträgern zu klären.

Zum Schutzanzug Astro Protect mit Gebläse-Filterssystem Scott Pro Flow gibt es nach den Erfahrungen in unserem Bereich derzeit keine Alternative. Dieser bot der Ärztin der Rechtsmedizin bei der Übung die höchste Sicherheit, bei bestem Tragekomfort. Ein großer Nachteil des Schutzanzuges waren die Kommunikationsschwierigkeiten durch die Lautstärke der Gebläseeinheit. So war die Rechtsmedizinerin nicht in der Lage, die Befunde der äußeren Leichenschau in das Diktiergerät zu sprechen. Eine Verständigung mit dem Teamkollegen war verbal nicht bzw. mittels Handzeichen nur sehr erschwert möglich.

Aus diesem Grund ist der Einsatz von Funksprechgeräten, die als Headsets unter den Schutzanzügen getragen werden, wünschenswert. Zur Vorbereitung auf den Einsatzfall ist es erforderlich, vier Schutzanzüge Astro C mit Gebläsefiltersystemen Scott Pro Flow mit notwendigem Zubehör für die Präparatoren der Pathologie und die Ärzte der Rechtsmedizin – auch für regelmäßige Übungen – im Institut für Pathologie des Klinikums Schwabing einzulagern und stets auf dem neuesten Stand zu halten.

Für die gesamte Ausrüstung muss eine Check-Liste angefertigt werden, die es ermöglicht, eine exakte Kontrolle über das Vorhandensein sämtlicher Schutzausrüstungen und Hilfsmittel zu gewährleisten. Zur Verfügung stehen uns leider nur die Leichenhüllen in silbergrau und weiß, die Tücher für die Durchtränkung mit Formalin, das Absorbens Ardol<sup>®</sup> sowie die gekennzeichneten Fässer für den infektiösen Abfall. Eine Garnitur der Leichenhüllen, der Tücher und des Absorbens wird auf der Sonderisolierstation des Klinikums Schwabing vorrätig gehalten.

Nach Auffassung von Experten ist die Desinfektion mit Peressigsäure, z. B. die Desinfektions-Dosierstation von Wofasteril<sup>®</sup>, das Mittel der Wahl. Diesbezüglich wäre eine bundeseinheitliche Regelung anzustreben!

Der Personalbedarf zur Versorgung hoch kontagiöser Leichen ist auf mindestens acht Personen – einen Rechtsmediziner, zwei Präparatoren, den Pathologen, vier Bestatter, einen Einsatzleiter für Koordination, Protokoll usw. – anzusetzen.

Sollte die Durchführung einer Autopsie notwendig sein, ist die Anwesenheit von zwei Rechtsmedizinern zwingend erforderlich! Kleine Abstimmungsprobleme zwischen den einzelnen Teams ergaben sich zwangsläufig aus der Tatsache heraus, dass diese im Rahmen der Übung das erste Mal zusammenarbeiteten. Hier sind in Zukunft gemeinsame Schulungen angezeigt, um die Koordination untereinander zu optimieren. Die beschriebene Vorgehensweise zur Versorgung, zum Transport und zur Bestattung von hoch kontagiösen Verstorbenen ist im Detail sicher noch verbesserungsfähig, in ihrer Anwendbarkeit derzeit aber die einzig praktikable Lösung.



## Literaturhinweise

FOCK, R., KOCH, U., FINKE, E. J., et al., „Schutz vor lebensbedrohlichen importierten Infektionskrankheiten“.

Strukturelle Erfordernisse bei der Behandlung von Patienten und antiepidemischen Maßnahmen. Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz 2000; 43:891-9

GRAF, P., IPPISCH, S., et al. (2004) „Maßnahmen bei Todesfall in dem Handbuch Biologische Gefahren – Beiträge zum Bevölkerungsschutz vom Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe“

## Danksagung

Für die freundliche Unterstützung und Beratung bei der Bearbeitung des Manuskriptes möchte ich mich recht herzlich bedanken bei Herrn Prof. Dr. med. W. Eisenmenger, Vorstand des Instituts für Rechtsmedizin der Universität München, und Frau Dr. med. P. Graf, Medizinaldirektorin am Referat Umwelt und Gesundheit der Landeshauptstadt München, meinen Kollegen Herrn R. Gillich, med. Präparator am Institut für Pathologie, Klinikum Schwabing, für die logistische Ausarbeitung und Umsetzung der beschriebenen Vorgehensweise und Herrn G. Hader, Fa. Pro Umwelt, Pfeffenhausen für die Bereitstellung der Ausrüstung. Mein besonderer Dank gilt Herrn S. Ippisch vom Gesundheitsamt Erding, der mir in allen Belangen meiner Arbeit zur Seite gestanden hat.



## **4.8 Tenazität: Die „natürliche Dekontamination“ von Bakterien und Toxinen**

*Petra Dickmann*

### **Zusammenfassung**

Das Wissen von der Überlebensfähigkeit humanpathogener Erreger und Toxine ist im Kontext bioterroristischer Gefahrenlagen in einer besonderen Weise relevant: Ein profundes und detailliertes Wissen über die Rahmenbedingungen pathogener Wirkungsmechanismen ermöglicht eine adäquate und präzise Risikobewertung und ist eine Voraussetzung für die Abschätzung der Notwendigkeit weiterer Maßnahmen. Andererseits ermöglicht das Wissen über die Widerstandsfähigkeit von Erregern auch neue Ausbringungsmöglichkeiten als erweiterte Option bioterroristischer Gefährdungen – so wurde eine Veröffentlichung kontrovers diskutiert (und von der Publikation zeitweise zurückgezogen), die die Ausbringungsmöglichkeiten von Botulinumtoxin in Frischmilch untersucht hat.

Dieser Beitrag gibt eine kurze Übersicht zur Problematik der Fragestellung und zu Forschungen zur Tenazität von Bakterien und Toxinen. Er verdeutlicht außerdem die methodischen Schwierigkeiten, mit denen dieser Forschungsbereich konfrontiert ist. Abschließend wird das Spannungsfeld zwischen effektiver und effizienter Dekontamination einerseits und einer Verhinderung der Proliferation von sensitivem Wissen andererseits zur Diskussion gestellt.

### **Einleitung**

Das Wissen von der Überlebensfähigkeit humanpathogener Erreger und der Stabilität von Toxinen ist im Kontext bioterroristischer Gefahrenlagen in besonderer Weise relevant: Profundes und detailliertes Wissen über die Rahmenbedingungen der virulenten und pathogenen Wirkungsmechanismen ermöglicht eine adäquate und präzise Risikobewertung und ist eine Voraussetzung für Hygiene-Empfehlungen oder die Abschätzung der Notwendigkeit weiterer Maßnahmen wie z. B. einer Dekontamination. Im Laborbereich ist die

Dekontamination und Desinfektion alltägliche Routine – und leichter zu planen, weil sich die Parameter nicht ändern. Für Feuerwehren ist das Wissen um die Überlebensfähigkeit von Erregern eine eher neuere Konfrontation, die aber in Folge der Anthrax-Briefe in den USA und der unzähligen Anthrax-Verdachtsfälle in das Bewusstsein und vor allem in die Praxis gerückt ist.

Umso erstaunlicher ist es, dass für relevante humanpathogene Agenzien, wie beispielsweise Anthrax-Sporen und Botulinumtoxinen, nur wenig Literatur zu ihrer Überlebensfähigkeit bzw. Stabilität zur Verfügung steht. Das Wissen um die exakten Bedingungen von Leben und Sterben, von Aktivierung und Inaktivierung stehen in einem großen Widerspruch zu der Relevanz dieses Wissens.

Dennoch ist das geforderte Wissen nicht ‚einfach‘, sondern in gewisser Weise ‚dual use‘: Das Wissen über die Widerstandsfähigkeit von Erregern ermöglicht auch neue Ausbringungsmöglichkeiten und damit erweiterte Optionen bioterroristischer Gefährdungen. Das jüngste Beispiel für die Problematik dieses Wissensgebietes liefert die Publikation des Stanford-Ökonomen Lawrence Wein in PNAS (2005). Wein hat ein mathematisches Modell zur Ausbringung von Botulinumtoxinen in Frischmilch publiziert und die Diskussionen über den Umgang mit sensiblen Information – wie letale Konzentration, Überlebensfähigkeit bzw. optimale Umweltbedingungen – erneut angefacht.

In diesem Beitrag werden exemplarisch zwei Erreger vorgestellt, die als Bioterrorismus relevante Erreger eingestuft werden und – nach den Kriterien der amerikanischen Centers for Disease Control and Prevention (CDC) – ein nationales (US-) Sicherheitsrisiko darstellen, weil sie

- leicht verbreitet werden können oder eine Mensch-zu-Mensch-Übertragung möglich ist,
- eine hohe Sterblichkeitsrate haben und einen großen Einfluss auf das Gesundheitssystem darstellen,
- ein hohes Panik- und Verunsicherungspotenzial haben
- und eine spezielle Bereitschaft des Gesundheitswesens erfordern.

Für den Bereich der Bakterien und Sporen wird *Bacillus anthracis* thematisiert; für den Bereich der Toxine Botulinumtoxin.

Innerhalb der Risikobewertungen von bioterroristischen relevanten Szenarien wird oft von einem Ausbringungsszenarium ausgegangen, von modulierbaren Umwelten, die aufgrund ihrer Umwelteigenschaften besondere Bedingungen stellen. Als besonders effektive Ausbringung von Biologischen Waffen wird die Aerosolisierung angesehen, die in diesem Beitrag angesprochen wird.

In den letzten Monaten ist die Diskussion über die Ausbringung über die Nahrungsmittelkette in den Vordergrund getreten. Anhand der Untersuchung zur Ausbringung von Botulinumtoxinen und Anthrax-Sporen über die Frischmilch wird diese Diskussion aufgenommen.

### **Tenazität – die Widerstandsfähigkeit**

Unter dem Fachbegriff Tenazität wird in der Biologie und Medizin „die Überlebensfähigkeit eines Erregers in seiner Umwelt“ verstanden. Nun ist der Begriff aus mehreren Gründen schwierig in seiner Verwendung:

Zum einen charakterisiert die Überlebensfähigkeit im strengen Sinne nur lebende Erreger, also z. B. Bakterien. Viren sind außerhalb eines Wirts nicht stoffwechselaktiv und sind damit außerhalb des Beschriebenen. Es hat sich deshalb in den fachspezifischen Sprachgebrauch eingeschlichen, unter der Überlebensfähigkeit die Widerstandsfähigkeit eines biologischen Agens in seiner Umwelt zu verstehen. Mit den Aussagen zur Tenazität beschreibt man die Bedingungen, unter denen Erreger ihre charakteristischen Eigenschaften wie z. B. Pathogenität, Infektiosität u. a. über definierte Zeiträume aufrechterhalten können.

Zum anderen sind die Parameter, die maßgeblichen Einfluss auf die Tenazität haben, divers, d. h. es ist erregerspezifisch, welche Parameter in welchem Ausmaß relevant für die Beschreibung sind, so weiß man, dass der pH-Wert, die Temperatur, der Luftdruck, die relative Luftfeuchtigkeit und UV-Strahlung Einfluss auf die Widerstandsfähigkeit von Erregern haben. Dabei zeigt die Tenazität von Bakterien und Toxinen allerdings eine große Spanne.

Die Inaktivierungsrate, also die Abnahme der Konzentration mit der Zeit, ist gerade für viele bioterroristisch relevante Agenzien noch nicht ausreichend erforscht.

Allgemeine Aussagen zur Tenazität lassen sich daher nur schwer oder gar nicht treffen. Wenn eine Eigenschaft beschrieben wird, z. B. dass ein bestimmter Erreger bei einer Temperatur ab 65 °C nach Ablauf einer definierten Zeit inaktiviert ist, können andere Umwelteigenschaften wie die Luftfeuchtigkeit oder die Strahlung ebenso eine Rolle spielen. Allenfalls annäherungsweise kann man sagen, dass grampositive Bakterien widerstandsfähiger sind als gramnegative (Mitscherlich 1984). Die Kategorienbildung ist schwierig, weil sie – vermutlich – nicht entlang der gebräuchlichen oft morphologischen Unterscheidungen von Bakterien verläuft, wie z. B. grampositiv/gramnegativ, stäbchen-/kugelförmig, begeißelt/unbegeißelt.

Problematisch ist auch die Übertragbarkeit der gewonnenen Daten: So sind die vorhandenen zumeist aus Tierexperimenten gewonnen worden und die prinzipielle Übertragbarkeit auf den Menschen ist fraglich. Auch lassen die Aussagen, die über Wachstumsbedingungen getroffen wurden, keinen Umkehrschluss zu: Die Beobachtung, dass Bakterien unter gegebenen Bedingungen wachsen, bedeutet nicht, dass sie zu anderen Bedingungen nicht wachsen. Die Extensionen einer Aussage sind also sehr limitiert.

Dadurch ist die Auseinandersetzung mit der Überlebensfähigkeit von Erregern ein schwieriges Feld, die immer wieder den Einzelfall vor die Verallgemeinerung stellen muss und sich ungemein schwer mit – im gewissen Sinne – wissenschaftlichen Verfahren und den verallgemeinerbaren, objektiven Fakten tut.

### **Anthrax-Sporen und ihre Ausbringung als Aerosol**

*Bacillus anthracis* ist ein Sporenbildendes, grampositives Bakterium, das die Krankheit Milzbrand hervorruft. Für die Überlegungen zur Tenazität spielen besonders die Anthrax-Sporen eine Rolle. Sporen sind die stoffwechselreduzierte, ‚stabile Überlebensform‘ von *B. anthracis*, die die Bakterien unter ungünstigen Umweltbedingungen bilden.

Bei Anthrax-Sporen wird von einer letalen Dosis (LD<sub>50</sub>) von etwa 8.000 Sporen ausgegangen. Die letale Dosis (LD<sub>50</sub>) ist eine Angabe der Konzentration, bei der 50 Prozent der Exponierten an den Folgen der Infektion versterben. Diese Angabe zur letalen Dosis ist im Zusammenhang mit der Tenazität deswegen

relevant, weil über diese Angaben die tatsächliche Gefährdung angegeben werden kann; die infektiöse und pathogene Konzentration, die Sicherheit oder Gefährdung beziffern kann – abgesehen von der Disposition und dem Immunstatus des Infizierten.

Mit den Anthrax-Briefen von 2001 ist Bioterrorismus verstärkt ins öffentliche Bewusstsein getreten. Die Anthrax-Sporen, die im Zusammenhang mit dem 11. September an Politiker und Medienvertreter in den USA in Briefen verschickt wurden, waren in einer Pulverform von hoher technischer Qualität. Das hat die Experten überrascht: Zum einen wurde man sich des Ausmaßes der technischen Expertise gewahr, die im Zusammenhang von Terrorismus verwendet wurde, zum anderen überraschte, dass dieses Pulver in Briefen versandt wurde. Eine Verstäubung über beispielsweise die Klimaanlage hätte eine weitaus höhere Opferzahl nach sich gezogen. Denn die Aerosolisierung von pathogenen Mikroorganismen und Toxinen wird als wirksamste Ausbringung von biologischen Waffen angesehen.

Für die erfolgreiche Aerosolisierung müssen mehrere Wissensgebiete zusammenkommen: Die Strömungslehre, die das Verhalten von Partikeln in Luft beschreibt, das Engineering, das die Dissemination von trockenen und flüssigen Aerosolen beschreibt, und die Mikrobiologie, die die Bedingungen von Mikroorganismen in ihrer Umgebung beschreibt. Damit wird deutlich, dass die Aerosolisierung von Mikroorganismen ein komplexes System an Wissenskoordinaten erfordert. Das ist natürlich schlecht handhabbar für den pragmatischen Bereich (wie z.B. Arbeiten im Labor), in dem ein ‚absolutes‘ Wissen als Grundlage der Arbeit und zum Schutz der Mitarbeitenden wünschenswert ist. Bei der Aerosolisierung spielen also verschiedene Variablen eine Rolle, die – ebenso wie bei der Tenazität – die Prognose schwierig machen.

Dieses erforderliche komplexe Wissen birgt allerdings auch einen ‚Non-Proliferations-Vorteil‘, dass mit und durch das Wissen um einen Themenkomplex nicht auf andere damit komplex verbundene Themen geschlossen werden kann. Auch ist nicht klar, ob die Summe der addierten Wissenskoordinaten mit den tatsächlichen komplexen Anforderungen des Szenarios übereinstimmt. Viel eher scheint es so zu sein, dass man es mit einem systemischen ‚Pythagoreischen Komma‘ zu tun hat, mit einer systemischen Wissenslücke, die nur das tatsächliche Experiment und evidenzbasierte Daten schließen können werden.

Der Fokus liegt in diesem Beitrag auf der Mikrobiologie und dem Wissen um die Umweltbedingungen von *B. anthracis*-Sporen.

- Sporengröße: bei der Aerosolisierung wird mit dem Aerodynamischen Durchmesser gearbeitet. Bei Anthrax-Sporen wird er mit 0,5 bis 2,0 Mikrometer angegeben.
- Konzentration: die LD50 wird in einer Spanne von 2.500 bis 55.000 Sporen angegeben; der Wert von 8000 Sporen für die LD50 hat sich in den letzten Jahren durchgesetzt.
- Wachstumsbedingungen: Temperatur 0 – 45 °C
- Wachstumsbedingungen: pH 6,0 – 8,5
- Wachstumsbedingungen: diffuses Tageslicht von zwei Tagen
- Austrocknungsbeständigkeit: mind. 10 Jahre
- Hitzebeständigkeit (trocken): 140 °C 3h

Sporengröße (AD)		0,5 – 2,0 µm					
LD50		2.500 – 55.000 Sporen (8.000)					
pH		6,0 – 8,5					
Inaktivierung durch:	Feuchte Hitze	90 °C:	15 – 45 min	95 °C:	10 – 25 min	100 °C:	2 – 15 min
	Trockene Hitze	140 °C:	3 h	150 °C:	1 h	160 °C:	< 1 h
	Autoklavierung	120 °C:	10 min				
Tenazität in	Olivenöl	18 °C:	16 Tage	37 °C:	4 Tage		
	Erdnussbutter	18 °C:	7 Tage	37 °C:	3 Tage		
	Haare/Wolle		Jahre				
	Milch		10 Jahre				

Tab. 18: Anthrax-Sporen (Quelle: Mitscherlich 1984, 8-15)



Die Aerosolisierung ist ein multifaktorielles Geschehen, bei der kaum Standardisierungen möglich sind; nicht nur Stämme, sondern auch Gattungen weichen in ihrem Überlebensverhalten voneinander ab.

So werden gramnegative Bakterien als empfindlicher als grampositive Bakterien beschrieben. Je weniger metabolisch aktiv ein Erreger ist, desto besser sind dessen Überlebenschancen. Auch die Art der Aerosolisierung hat großen Einfluss auf das Überleben des Erregers als Aerosol; so gehen die Sprührate, die Scherkräfte im Medium und die Partikelgröße des Erregers als Parameter in die Überlebensfähigkeit eines Erregers ein. Manche Sprayer zerstören die Bakterien. Auch die Temperatur beeinflusst das Überleben von aerosolisierten Erregern: Je höher die Temperatur, desto schlechter die Überlebenschancen – allerdings kann von einer großen Temperaturamplitude ausgegangen werden, so dass auch hier eine Verallgemeinerung grundsätzlich schwierig ist. Dennoch gilt, dass die Sonneneinstrahlung annähernd proportional zur Zerfallsrate ist, wobei trockene Aerosole weniger anfällig sind als flüssige.

Die Datenlage zur Tenazität von aerosolisierten Anthrax-Sporen ist für den öffentlichen Bereich noch nicht ausreichend repräsentiert. Allerdings sind die erforderlichen Sprühversuche umstritten, weil sie eine nachhaltige Kontamination von Landstrichen zur Folge hätten. Darüber hinaus gibt es wahrscheinlich sicherheitspolitische Bedenken, diese Art ‚biologischen Wettrüstens‘ zu initiieren. Bisher wurde auch mit Modellorganismen gearbeitet, aus denen Eigenschaften abgeleitet werden konnten. Für *Bacillus anthracis* wird das nicht-humanpathogene *B. thuringiensis* als Modell genutzt. *B. thuringiensis* ist sozusagen der ‚close cousin‘ von *Bacillus anthracis* und wird in der Insektenbekämpfung eingesetzt. Dort kann man von den praktischen Erfahrungen mit aerogen ausgebrachten Pestiziden, die dort täglich und in einem großen Umfang gemacht werden, profitieren. Der kanadische Wissenschaftler David Levin (2003) konnte zeigen, dass eine Dissemination von *B. thuringiensis* aus einem gewöhnlichen Sprühflugzeug heraus, lungengängiges Aerosol in relevanten Konzentrationen erzeugen konnte.

Die zweite Beobachtung von Levin war die erstaunliche Mobilität der dispersten Partikel. Die besprühten Gebiete zeigten eine Aerosolkonzentration von etwas 245 CFU/m<sup>3</sup> (1 Colony Forming Unit entspricht etwa einer Spore). Für einen erwachsenen Menschen bedeutet das eine Inhalation von 200 Sporen in der Stunde. Dabei war die Konzentration in geschlossenen Räume teil-

weise höher als draußen. Nasen- und Rachenabstriche von Personen, die sich in dem besprühten Gebiet in geschlossenen Räumen aufgehalten haben, zeigten signifikante Befunde.

In einem Kommentar von Peters und Hartley (2003) werden diese Daten auf Anthrax-Sporen übertragen. Peters und Hartley errechnen bei einer LD<sub>50</sub> von *Bacillus anthracis* mit etwa 8.000 Sporen eine LD<sub>14-19</sub> bei einer Ausbringung mit diesen Geräten unter den angegebenen Parametern; d. h. bei einer Ausbringung mit *Bacillus anthracis* mit diesen Parametern würden von 100 exponierten Personen etwa 14 bis 19 erwachsene Menschen sterben.

Die Tenazität von Anthrax-Sporen in der natürlichen Umwelt und die Erfahrungen aus den Sprühanwendungen mit *B. thuringiensis* legen eine behutsame Risikobewertung im Kontext biologischer Bedrohungen nahe.

## **Botulinumtoxin und die Ausbringung in Frischmilch**

Die Ausbringung von Botulinumtoxinen in Frischmilch wurde durch die Publikation des Ökonomen Lawrence Wein im Jahr 2005 verstärkt in die öffentliche Debatte gebracht. In diesem Diskurs ging es im Wesentlichen um zwei Aspekte:

- zum einen um die Risikobewertung der Distribution von Botulinumtoxinen in Frischmilch,
- zum anderen um die Distribution von Wissen, das in einer missbräuchlichen Anwendung eine (bio-)terroristische Bedrohung darstellen kann.

## **Distribution von Botulinumtoxinen in Frischmilch**

Botulinumtoxine werden von dem Bakterium *Clostridium botulinum* erzeugt. *C. botulinum* ist ein grampositives, Sporen bildendes Bakterium, das ubiquitär im Boden vorkommt. Während das Bakterium relativ umweltlabil ist, sind die Botulinum-Sporen umweltstabil und können unter bestimmten klimatischen Bedingungen auskeimen. Unter anaeroben Bedingungen bildet das Bakterium das hochtoxische Botulinumtoxin, das den sog. Botulismus verursachen kann. Botulinumtoxin gehört zu den giftigsten biologischen Substanzen mit

einer geschätzten parenteralen LD<sub>50</sub> von 0,001 µg/kg Körpergewicht (bzw. LD<sub>50</sub> aerogen von 0,003 µg/kg Körpergewicht), das über die Blockierung der Acetylcholinfreisetzung an den neuromuskulären Endplatten Lähmungen verursacht, die unbehandelt zum Tode führen (Russmann 2003).

Das Toxin hat eine relativ geringe Umweltstabilität; es zerfällt nach zwölf Stunden durch den Luftsauerstoff; Sonnenlicht inaktiviert das Toxin schon nach ein bis drei Stunden, eine Erhitzung auf 80 °C zerstört das Toxin in 30 Minuten, bei 85 °C wird das Toxin in fünf Minuten inaktiviert. Dennoch gibt es Bedingungen, unter denen die Ausbringung von Botulinumtoxin gut möglich scheint: Frischmilch zum Beispiel bietet durch den leicht aziden pH-Wert (6,5) sowie die proteinreiche Umgebung Bedingungen, die eine höhere Stabilität des Toxins gewährleisten.

Diese Eigenschaft haben Lawrence Wein und Yifan Liu aufgenommen und ein mathematisches Modell erstellt, in dem die Distribution von Botulinumtoxin über Frischmilch modelliert wurde (Wein und Liu 2005). Sie kommen zu dem Schluss, dass es auch mit einer geringen Menge Toxin möglich sei, über die Logistik und Infrastruktur der Frischmilcherzeugung eine biologische Bedrohung für die Bevölkerung zu stellen. Innerhalb der Produktionsvorgänge der Milch würde die Toxizität des Toxins kaum leiden. Durch die routinemäßige Pasteurisierung der Milch bei einer Temperatur von 72 °C für 15 Sekunden, die alle relevanten Bakterien abtötet, würde das Toxin nur unzureichend inaktiviert. Außerdem sei es durch die relativ schnelle Konsumierung von Milch bei den Verbrauchern kaum möglich, kontaminierte Chargen rechtzeitig nach Auftreten der ersten Botulismus Häufungen zurückzuziehen. Wein und Liu fordern deshalb, die Pasteurisierung der Milch zu verändern: Milch solle bei einer höheren Temperatur länger erhitzt werden. Außerdem sollten die Lebensmittelproduktionsketten stärker kontrolliert werden.

Diese Studie zeigt exemplarisch, dass die Angaben zur Inaktivierungskinetik nicht ‚einfach‘ auf andere Umweltbedingungen übertragen werden können. Sie zeigen auch, wie nötig es ist, im Rahmen der Prävention von Bioterrorismus die ‚Lücken‘ Tenazität von den relevanten Agenzien zu kennen und angemessen darauf zu reagieren.

## Distribution von sensiblem Wissen

Eine der Reaktionen auf die Modellierung von Wein und Liu war der Versuch, die Publikation des Artikels zu verhindern. Es wurde befürchtet, dass durch die Offenlegung solcher Sicherheitslücken – wie zum Beispiel die Logistik von Frischmilch oder die Standardbedingungen der Pasteurisierung – ein Terroranschlag erst motiviert werde. Außerdem wurde Wein und Liu vorgeworfen, sensible Daten, wie z. B. die Inaktivierungskinetiken von bioterrorrelevanten Agzien sowie deren Dosis-Wirkungs-Beziehung, bedenkenlos zu publizieren und damit einen Missbrauch dieses Wissens nahezulegen.

Diese Vorwürfe haben sich in der Diskussion über dieses Vorgehen als haltlos erwiesen: Weder haben Wein und Liu Daten publiziert, die noch nicht öffentlich zugänglich waren. Noch führen die Hinweise auf Sicherheitslücken in der Nahrungskette dazu, diese Lücken missbräuchlich zu nutzen, sondern viel eher, diese Lücken zu schließen. In der sehr grundsätzlichen Diskussion über die Publikation von Daten, die eine bioterroristische Verwendung bergen könnten, wurde der Begriff des sensiblen Wissens eingeführt. Sensibles Wissen ist in diesem Fall Wissen, dass in einer missbräuchlichen Anwendung eine (bio-)terroristische Bedrohung darstellen kann.

Es ist eine Aufforderung und eine Herausforderung für die zeitgenössischen Wissenschaften sich einerseits für einen möglichen Missbrauch von Wissen in bioterroristischen Kontexten zu sensibilisieren, andererseits gerade vor dem Hintergrund bioterroristischer Bedrohungen eine wissenschaftliche Offenheit und Transparenz zu gewährleisten, die Sicherheitslücken identifizieren und ein entsprechendes Vorgehen diskutieren kann.

## Literaturhinweise

AERTSEN, A., MICHIELS, C. W. (2004). „Stress and how bacteria cope with death and survival.“ *Crit Rev.Microbiol.* 30.4, 263-73.

ALBERTS, B. (2005). „Modeling attacks on the food supply.“ *Proc.Natl.Acad. Sci.U.S.A* 102.28, 9737-38.

ARNON, S. S., et al. (2001). „Botulinum toxin as a biological weapon: medical and public health management.“ *JAMA* 285.8, 1059-70.

BOSSI, P., et al. (2004). „Bichat guidelines for the clinical management of anthrax and bioterrorism-related anthrax.“ *Euro. Surveill* 9.12.

COX, C. S. (1976). „Inactivation kinetics of some microorganisms subjected to a variety of stresses.“ *Appl.Environ.Microbiol.* 31.6, 836-46.

FENNELLY, K. P., et al. (2004). „Airborne infection with *Bacillus anthracis* – from mills to mail.“ *Emerg.Infect.Dis.* 10.6, 996-1002.

GILMORE, R. (2004). „US food safety under siege?“ *Nat.Biotechnol.* 22.12, 1503-05.

GOTTSCHALK, R., PREISER, W. (2005). „Bioterrorism: is it a real threat?“ *Med.Microbiol.Immunol.(Berl)* 194.3, 109-14.

HEIDELBERG, J. F., et al. (1997). „Effect of aerosolization on culturability and viability of gram-negative bacteria.“ *Appl.Environ.Microbiol.* 63.9, 3585-88.

INGLESBY, T. V., et al. (2002). „Anthrax as a biological weapon, 2002: updated recommendations for management.“ *JAMA* 287.17, 2236-52.

LEVIN, D. B., G. VALADARES, A.G. (2003). „Potential for aerosol dissemination of biological weapons: lessons from biological control of insects.“ *Biosecur.Bioterror.* 1.1, 37-42.

MARTHI, B., et al. (1990). „Survival of bacteria during aerosolization.“ *Appl.Environ.Microbiol.* 56.11, 3463-67.

MITSCHERLICH, E., MARTH, E. (1984). *Microbial Survival in the Environment. Bacteria and Ricksettsiae Important in Human and Animal Health*. Berlin, Heidelberg, New York, Tokio: Springer-Verlag.

PETERS, C. (2003). „Aerosols from Insect Control Measures Show Dangers of Bioterrorism.“ *Biosecurity and Bioterrorism* 1.3, 221-22.

RUSSMANN, H. (2003). „Toxine. Biogene Gifte und potenzielle Kampfstoffe.“ *Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz* 46, 989-96.

SCHANTZ, E. J., SUGIYAMA, H. (1974). „Toxic proteins produced by *Clostridium botulinum*.“ *J.Agric.Food Chem.* 22.1, 26-30.

SIEGEL, L.S. (1993). „Destruction of Botulinum Toxins in Food and Water.“ *Clostridium Botulinum. Ecology and Control in Foods*. Ed. A. H. Hauschild and K. Dodds. Ontario, 323-41.

WEIN, L. M., LIU, Y. (2005). „Analyzing a bioterror attack on the food supply: The case of botulinum toxin in milk.“ *Proc.Natl.Acad.Sci.U.S.A* 102.28, 9984-89.

## 4.9 Tenazität von Viren – Stabilität und Erhalt der Infektiosität von Viren

*Christine Uhlenhaut*

### Zusammenfassung

Die Stabilität der Infektiosität von Viren hängt von vielen Faktoren ab, von den jeweiligen viralen Eigenschaften und von der Summe der Umweltbedingungen, die vorherrschen. Die morphologischen und chemischen Differenzen zwischen den Vertretern einzelner Virusgruppen können außerordentlich groß sein und bestimmen die Tenazität entscheidend. Schon innerhalb einer Virusfamilie können sich Viren in ihren biochemischen Eigenschaften deutlich unterscheiden. Eine pauschale Vorhersage über die Stabilität und Infektiosität von Viruspartikeln im Allgemeinen lässt sich nicht treffen.

Der Begriff Tenazität wird für eine Vielzahl von Stoffen und auch für Mikroben verwendet. Tenazität beschreibt die Stabilität oder Überlebensfähigkeit eines Stoffes oder Agens in der natürlichen Umwelt.

Viren haben im Unterschied zu Bakterien keinen eigenen Stoffwechsel, sie vermehren sich auch nicht ohne Wirt oder lebende Zellen, im Grunde „leben“ Viren also nicht. Folglich können sie auch nicht abgetötet, sondern nur „inaktiviert“ werden, indem ihre physiko-chemischen Eigenschaften verändert bzw. zerstört werden. Viren werden im Unterschied zu Bakterien und Pilzen nicht generell durch Salzen, Pökeln, Trocknen und Gefrieren inaktiviert, ihre Infektiosität kann so eher stabilisiert werden. Da Viren sich nicht außerhalb lebender Zellen vermehren, kann die Anzahl infektiöser Viruspartikel in der unbelebten Umwelt nur abnehmen.

Viruspartikel können nach verschiedenen Charakteristiken in Gruppen eingeteilt und benannt werden. Die einfachste Unterscheidung ist die in *behüllte* und *unbehüllte* Viren. Grundsätzlich ist der Aufbau von Viruspartikeln durch relativ einfache Bauprinzipien bestimmt. Viren besitzen einen Typ von Nukleinsäure (das virale Erbgut), man unterscheidet somit DNA- und RNA-Viren, die sich aufgrund der Genomstruktur in Untergruppen unterteilen

lassen (einzelsträngig oder doppelsträngig, positive oder negative Strangorientierung, segmentiertes oder nicht segmentiertes Genom). Einfach gebaute Viren besitzen nur eine Proteinhülle, die das Erbgut umschließt, das so genannte *Kapsid*. Partikel, die nur aus ihrer Erbinformation und einem Kapsid bestehen, nennt man *Virionen*. Bei Viren, die weitere Proteinhüllen, so genannte *envelopes* besitzen, wird die innere Proteinhülle, die das Erbgut umschließt, als *Nukleokapsid* bezeichnet. Es gibt auch Viren, die kein eigentliches Kapsid besitzen, die virale Erbsubstanz ist direkt von verschiedenen Schichten Lipoprotein umgeben. Der so geformte Komplex wird als *Nukleoid* (Lipoprotein-Nukleinsäure-Komplex) bezeichnet. Viren mit diesem Aufbau nennt man *komplexe Viren*, ein Beispiel hierfür sind Pockenviren.

Die Hülle, die viele Viren außer dem Kapsid noch besitzen, leitet sich vom zellulären Membransystem – also von der infizierten Wirtszelle – ab. Diese Virus-hülle kann von der Kernmembran, dem Zytoplasma oder dem endoplasmatischen Retikulum stammen. Sie kann wesentliche Vorteile für das Virus haben, sie kann eine wichtige Rolle bei der Fusion mit Zellen spielen, sie kann die Freisetzung von produzierten Viruspartikeln aus der Zelle ohne die Zerstörung der Zelle (der Virusfabrik) erlauben oder durch kleine Veränderungen der Hülle eine größere Variabilität des Virus (z. B. ein anderes Wirtsspektrum) ermöglichen. Ein entscheidender Nachteil der Lipidhülle für das Virus ist, dass es hier einen Angriffspunkt bietet. Diese Hülle kann beispielsweise durch Detergenzien zerstört werden. Behüllte Viren lassen sich meist schon mit Desinfektionsmitteln, die auch gegen Bakterien eingesetzt werden, inaktivieren, während unbehüllte Viren oft mit höheren Konzentrationen und/oder über längere Zeit behandelt werden müssen (Tab. 19). Hierbei handelt es sich jedoch nicht um eine grundsätzliche Regel, je nach Aufbau der Hülle können behüllte Viren sehr resistent und unbehüllte Viren sehr sensitiv gegen unterschiedliche Noxen sein. Signifikante Unterschiede können hier schon innerhalb einer Virusfamilie auftreten, so zeigt Coxsackie B3 eine höhere Tenazität als Polio Typ 1, beide zählen zu den Enteroviren.



Virusaufbau	Struktur	Relative Tenazität	Beispiele
Unbehüllte Viren	Nukleokapsid	Sehr hoch	Enteroviren Hepatitis A Parvoviren
Intermediäre Viren	Nukleokapsid und Spikes	Mittel bis hoch	Adenoviren Rotaviren
Behüllte Viren	Nukleokapsid und Hülle	Relativ hoch	Hepatitis B Hepatitis C
		Gering	Retroviren Vaccinavirus

Tab. 19: Tenazität von Viren in Abhängigkeit von der Virusstruktur

Die „klassischen“ humanpathogenen bioterrorrelevanten Viren sind behüllte Viren; wenn man allerdings über diese Erregergruppe hinausgeht, findet man tier- oder pflanzenpathogene Viren, die das Potenzial haben, große wirtschaftliche Schäden verursachen zu können und die in die Gruppe der unbehüllten Viren einzugruppiert sind (Tab. 20).

Virus	Aufbau
Filoviren (Marburg-, Ebolavirus)	Hülle
Bunyaviren (Krim-Kongo-HF-, Hantavirus)	Hülle
Poxviren (Variola-, Vaccinia-, Kuhpockenvirus)	Hülle
Arenaviren (Lassa-, Juninvirus)	Hülle
Togaviren (Venezuelanische Equine Enzephalitis Viren)	unbehüllt
Picornaviren (Maul- und Klauenseuche-Virus)	unbehüllt
Tymoviren (Citrus sudden death-associated Virus)	unbehüllt

Tab. 20: Struktur von bioterrorrelevanten Viren

Je nach Umweltbedingungen werden die strukturellen und damit ihre infektiösen und biologischen Eigenschaften von Viren mehr oder weniger rasch zerstört. Die Geschwindigkeit, mit der diese Zerstörung geschieht, ist für verschiedene Viren ganz unterschiedlich und von einer Vielzahl von weiteren Faktoren, die die Integrität des physikalischen Aufbaus der Viruspartikel beeinträchtigen, abhängig, z. B. Feuchtigkeit, organische Begleitsubstanzen, pH-Wert, physikalische Eigenschaften der Oberfläche, Temperatur(-schwankungen), Lichteinstrahlung und ionisierende Strahlung. Man unterscheidet die physikalische und die chemische Schädigung der Virusstruktur, die durch chemische (Desinfektionsmittel, Alkohol, Detergenzien) oder physikalische Noxen (Temperatur, UV-Strahlung, ionisierende Strahlung) entsteht.

## Physikalische Noxen

### 1. Temperatur

Bei niedrigen Temperaturen ( $< -20\text{ °C}$ ) sind Viren grundsätzlich sehr resistent (abgesehen von fortgesetzten Schwankungen über einen breiten Temperaturbereich); so werden Virusstocks, die für die Virusanzucht verwendet werden sollen, bei  $-80\text{ °C}$  oder in flüssigem Stickstoff ( $-196\text{ °C}$ ) aufbewahrt. Bei niedrigen Temperaturen kann die Virusinaktivierung also langsamer erfolgen (Desinfektion von Kühlräumen oder im Winter). So wird beobachtet, dass Poliovirus bei  $-7\text{ °C}$  selbst bei 20 Prozent relativer Luftfeuchtigkeit für mindestens drei Stunden nicht signifikant inaktiviert wird. Hohe Temperatur ist dagegen eine bedeutsame physikalische Noxe. Beim Autoklavieren werden Temperaturen von  $121\text{ °C}$  bis  $134\text{ °C}$  und bei der Heißluftsterilisation von  $180\text{ °C}$  angewendet. Der Grad der Empfindlichkeit gegen hohe Temperaturen ist ebenfalls virusabhängig, es kann auch innerhalb einer Virusfamilie bereits signifikante Unterschiede geben. So ist das Poliovirus temperatursensitiv, während das Hepatitis A-Virus, das ebenfalls zur Familie der Enteroviren gehört, temperaturstabil ist und seine Infektiosität bei  $60\text{ °C}$  über Stunden bewahren kann. Neben der den einzelnen Viren inhärenten Eigenschaft, mehr oder weniger hitzestabil zu sein, können Umweltfaktoren im Umgebungsmilieu, z. B. im Blut, eine Schutzfunktion im Sinne eines Schutzmantels ausüben und eine gewisse Hitzestabilität vermitteln.

## 2. Trocknung, Luftfeuchtigkeit

In angetrocknetem Zustand können manche Viren lange Zeit infektiös bleiben (Enteroviren, Adenoviren, Respiratory Syncytial-Virus, Hepatitis B-Virus). Die relative Luftfeuchtigkeit ist für die Geschwindigkeit der Inaktivierung bei Antrocknung von Viren auf Oberflächen mitentscheidend – jeweils im Zusammenspiel mit den physiko-chemischen Eigenschaften des Virus. So sind unbehüllte Viren wie Polio bei hoher Luftfeuchtigkeit eher stabil, während Aerosole von behüllten Viren wie Influenza oder Masern eher bei niedrigerer Luftfeuchtigkeit stabil sind. Diese Stabilität bei niedriger Luftfeuchtigkeit kann eine Rolle bei dem vermehrten Auftreten von Grippe im Winter spielen.

Die Inaktivierung von Viren bei Trocknung hängt unter anderem vom Trocknungsgrad und der Trocknungsart ab (z. B. enthalten „luftgetrocknete“ Präparate ca. 35 Prozent Luftfeuchtigkeit im Vergleich zu gefriergetrockneten Präparaten, die ein bis drei Prozent Restfeuchtigkeit enthalten). Auch die Oberfläche, auf der das Virus trocknet, kann eine wichtige Rolle für die Stabilität des Virus spielen. So verliert das Respiratory Syncytial-Virus nach ca. einer Stunde Trocknung an Händen oder Papiertaschentüchern seine Ansteckungsfähigkeit, auf Gummihandschuhen schon in kürzerer Zeit, aber erst nach sieben Stunden bei Trocknung auf einer Tischoberfläche.

Die Inaktivierungsrate ist ebenfalls von den spezifischen Eigenschaften des jeweiligen Virus abhängig: eine 90-prozentige spontane Inaktivierung (ohne Einsatz von Desinfektionsmitteln) erfolgt bei Antrocknung an eine Oberfläche unter Normalbedingungen für Influenza nach ca. vier Stunden, für HIV nach ca. acht Stunden und für das Poliovirus nach ca. 13 Stunden. Praktisch wichtig sind diese Gegebenheiten bei der Desinfektion von kontaminierten Tisch- oder Bodenflächen, bzw. Kontaktflächen, die zur Weiterverbreitung von Erregern durch Hände, Schuhe etc. beitragen können. So kann z. B. Poliovirus bei 40 Prozent relativer Luftfeuchtigkeit mehr als 99 Prozent seiner Infektiosität in zwei Stunden verlieren. Bei einem Wert von nahezu 100 Prozent relativer Luftfeuchtigkeit aber nimmt die Konzentration über mehr als vier Stunden nicht ab. Bei dieser Luftfeuchtigkeit ist der Virusfilm auf der Fläche feucht und entsprechend resistent. Auf einer mit unbehüllten Virusarten kontaminierten Fläche kann das Aufbringen eines gegenüber solchen Viren unwirksamen Desinfektionsmittels möglicherweise sogar schaden, da durch das Aufbringen

eines Desinfektionsmittels ein Feuchtigkeitsfilm gebildet wird. In diesem Fall wird die Virusbelastung also länger bestehen bleiben und ein falsches Gefühl der Sicherheit wird vermittelt. Bei der Desinfektion im Tauchbad ist zu beachten, dass eine Verteilung der Viren in der gesamten Flüssigkeit erfolgt. Damit diese abgeschwemmten Viren nicht andere Gegenstände im gleichen Tauchbad kontaminieren, ist der Einsatz eines universell einsetzbaren Viruszids notwendig. Der Verlauf der Inaktivierung hängt auch von der Eiweißbelastung im Milieu ab. Im Allgemeinen hat Eiweiß, z. B. in Serum, eine schützende Wirkung für Viren. Blutbelastung führt also häufig zu einer Hemmung der Wirkung von Desinfektionsmitteln. Entsprechende Tests müssen mit und ohne Proteinbelastung durchgeführt werden.

#### **4.9.3 Strahlung**

Angriffspunkt der Strahlung (UV-Strahlung, Tageslicht, ionisierende Strahlung) ist primär die virale Nukleinsäure, nicht die Virushülle; Proteine werden nahezu gar nicht angegriffen. Da die Nukleinsäure direkt geschädigt wird, hängt der Wirkungsgrad von der Genomgröße ab. Gammastrahlen werden häufig zur Inaktivierung von unbehüllten und behüllten Viren eingesetzt (z. B. bei Medizinprodukten). Im Vergleich zu Bakterien benötigen Entero-, Rota- oder Reoviren eine zehnfach höhere Dosis (ca. 30 Ws/cm<sup>2</sup>) für eine tausendfache Verringerung der Infektiosität. Proteine und andere Stoffe in der Probe können durch abschirmende Wirkung vor ionisierender Strahlung schützen.

#### **4.9.4 Chemische Noxen**

Chemische Noxen in der Umwelt können z. B. Salze oder Proteine sein, die in der Probe vorkommen (z. B. Bodenproben, Blutproben). Auch Alkohole und Detergenzien können zu den chemischen Noxen gezählt werden. Die Wirksamkeit von Desinfektionsmitteln hängt von den Hülleigenschaften des jeweiligen Virus im Zusammenspiel mit den gegebenen Umweltbedingungen ab. Ein und dieselbe Chemikalienklasse, wie z. B. Alkohole haben in Abhängigkeit von der Kettenlänge unterschiedliche Wirksamkeit gegenüber behüllten und unbehüllten Viren. Tabelle 21 zeigt die für die Inaktivierung verschiedener behüllter und unbehüllter Viren notwendigen Konzentrationen von Alkoholen unterschiedlicher Kettenlänge.

Substanz	Virus	Polio- virus *	Coxsackie B3-Virus *	Adeno- virus *	Herpes- virus **	Influenza- virus **
Methylalkohol		60 %	50 %	70 %	40 %	60 %
Ethylalkohol		70 %	70 %	80 %	30 %	40 %
Isopropylalkohol		> 90 %	> 90 %	> 90 %	30 %	30 %
n-Propanol		> 90 %	> 90 %	30 %	20 %	20 %

\* unbehüllt, \*\* behüllt

Tab. 21: Wirksamkeit von Alkoholen für Virusinaktivierung

Wie bei Alkoholen ist auch bei anderen Desinfektionsmitteln zu beachten, dass der Wirkungsgrad nicht für alle Viren gleich ist, zum Beispiel wird Poliovirus Typ 3 durch zwei Prozent Formalin inaktiviert, für die Inaktivierung von Polio Typ 1 wird dagegen eine achtprozentige Formalinkonzentration benötigt.

## Weitere Faktoren

In virusinfizierten Zellen und Organen außerhalb eines lebenden Makroorganismus oder in Leichen können Viren länger infektiös bleiben als außerhalb des Zellverbandes. Zwar wird durch enzymatische Abbauvorgänge auch hier eine langsame Inaktivierung eintreten, jedoch stellen die Zellen eine Art Schutzmantel für die Viren dar, der sie vor der Wirkung von Noxen schützt. Das gleiche gilt für andere Stoffe, wie zum Beispiel Proteine. So haben Versuche mit dem SARS-Coronavirus gezeigt, dass die Infektiosität ohne Protein nach neun Tagen um etwa 5 log Stufen (etwa hunderttausendfach) abnimmt, in Anwesenheit von Protein im selben Zeitraum jedoch nur um 1,5 log Stufen (fünfzigfach). Eine andere Untersuchung hat gezeigt, dass Viren auch in Ausscheidungen sehr viel länger infektiös bleiben können. Hierzu wurden Viren in einem künstlich hergestellten Schlamm/Gülle über mehrere Wochen bei unterschiedlichen Temperaturen (von 5 bis 55 °C) aufbewahrt und die Infektiosität zu verschiedenen Zeitpunkten bestimmt (Tab. 22).

Virus *	Ausgangstiter	5 °C	20 °C	35 °C	40 °C	45 °C	50 °C	55 °C	Hülle
Schweine-Influenza	10e + 5.8	9 w	2 w	> 24 h	> 24 h	–	>2:30 h	1 h	+
Porcines Parvovirus	10e + 6.0	> 40 w	> 40 w	21 w	9 w	> 19 d	5 d	8 d	–
MKS (Schwein)	10e + 4.8	> 14 w	2 w	24 h	10 h	5 h	1 h	1 h	–

w = Wochen, d = Tage

Tab. 22: Abnahme der Infektiosität. W = Wochen, d = Tage

Generalisierte Aussagen über die Tenazität oder die Stabilität der Infektiosität von Viren sind pauschal nicht möglich. Die theoretische Voraussage über das Verhalten eines Virus gegenüber in der Umwelt vorherrschenden Noxen ist schwierig, weil die jeweilige Morphologie, die physikalischen und biochemischen Eigenschaften des Virus immer im Zusammenwirken mit den gegebenen Umweltfaktoren zu sehen sind. Extrapolationen von beobachteten Werten für eine partielle Inaktivierung sind nicht zulässig. Um eine sichere Aussage zu treffen, muss die vollständige Inaktivierung bei einer definierten Menge eines Desinfektionsmittels unter festgelegten Bedingungen gezeigt werden. Verfahren, die zur sicheren Inaktivierung von Viren geeignet sind, sind Autoklavieren und Heißluftsterilisation sowie die Anwendung von geprüften Desinfektionsmitteln (siehe Desinfektionsmittelliste RKI, [www.rki.de/DE/Content/Infekt/Krankenhaushygiene/Desinfektionsmittel/desinfektionsmittel\\_node.html](http://www.rki.de/DE/Content/Infekt/Krankenhaushygiene/Desinfektionsmittel/desinfektionsmittel_node.html)).

Da viele Viren lange Zeit (Hepatitis A-Virus z. B. jahrelang) infektiös bleiben können, ist es im klinischen Alltag und in der Gefahrenabwehr notwendig, die Inaktivierung durch Desinfektionsmittel oder Sterilisation zu beschleunigen.

## Literaturhinweise

ADAMS, D. J., et al. (1982). „Aerosol stability of infectious and potentially infectious reovirus particles.“ *Appl. Environ. Microbiol.* 44.4, 903-08.

BIERMANN, U., HERBST, W., AND SCHLIESSER, T. (1990). „[The persistence of bovine enterovirus and pseudorabies virus in liquid cattle manure at different storage temperatures].“ *Berl Munch. Tierarztl. Wochenschr.* 103.3, 88-90.

DE JONG, J. G., AND WINKLER, K. C. (1964). „Survival of measles virus in air.“ *Nature* 201:1054-5, 1054-55.

HAAS, B., et al. (1995). „Inactivation of viruses in liquid manure.“ *Rev. Sci. Tech.* 14.2, 435-45.

HURST, C. J., AND GOYKE, T. (1986). „Stability of viruses in waste water sludge eluates.“ *Can. J. Microbiol.* 32.8, 649-53.

HURST, C. J., AND GOYKE, T. (1986). „Survival of indigenous enteric viruses during storage of waste water sludge samples.“ *Can. J. Microbiol.* 32.8, 645-48.

IJAZ, M. K., et al. (1985). „Survival characteristics of airborne human coronavirus 229E.“ *J. Gen. Virol.* 66. Pt 12, 2743-48.

MIEKKA, S. I., et al. (2003). „Inactivation of viral and prion pathogens by gamma-irradiation under conditions that maintain the integrity of human albumin.“ *Vox Sang.* 84.1, 36-44.

MILLER, W. S., AND ARTENSTEIN, M. S. (1967). „Aerosol stability of three acute respiratory disease viruses.“ *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 125.1, 222-27.

PIRTLE, E. C., AND BERAN, G. W. (1991). „Virus survival in the environment.“ *Rev. Sci. Tech.* 10.3, 733-48.

PRUSS, A., et al. (2002). „Effect of gamma irradiation on human cortical bone transplants contaminated with enveloped and non-enveloped viruses.“ *Biologicals.* 30.2, 125-33.

RABENAU, H. F. et al. (2005). „Stability and inactivation of SARS coronavirus.“ *Med. Microbiol.Immunol.(Berl)*. 194.1-2, 1-6.

SATTAR, S. A., et al. (1984). „Effect of relative humidity on the airborne survival of rotavirus SA11.“ *Appl.Environ.Microbiol.* 47.4, 879-81.

SCHOLTISSEK, C. (1985). „Stability of infectious influenza A viruses at low pH and at elevated temperature.“ *Vaccine* 3.3 Suppl, 215-18.

SINTON, L. W., FINLAY, R. K., AND LYNCH, P. A. (1999). „Sunlight inactivation of fecal bacteriophages and bacteria in sewage-polluted seawater.“ *Appl.Environ. Microbiol.* 65.8, 3605-13.

SPIRE, B., et al. (1985). „Inactivation of lymphadenopathy-associated virus by heat, gamma rays, and ultraviolet light.“ *Lancet* 1.8422, 188-89.

STALLKNECHT, D. E., et al. (1990). „Effects of pH, temperature, and salinity on persistence of avian influenza viruses in water.“ *Avian Dis.* 34.2, 412-18.

UHLENHAUT, C., et al. (2005). „Effects of lyophilization on the infectivity of enveloped and non-enveloped viruses in bone tissue.“ *Biomaterials.* 26.33, 6558-64.



# 5

## Detektion



## 5.1 Einführung

*Monika Hermann · Julia Sasse*

Eine schnelle und zuverlässige Erkennung von biologischen Agenzien mit bioterroristischem Potenzial ist unumgänglich, um wirksam auf eine mögliche Bedrohung reagieren zu können. Die Detektion von bioterroristisch relevanten Agenzien (Bakterien, Viren, Toxine) stellte eines der Schwerpunktthemen der GERMAN BIOSAFETY dar. In einem Fachforum wurden Stand der Entwicklung verschiedener Nachweisverfahren und Detektionssysteme, aktuelle Fragestellungen sowie zukünftige Anforderungen vorgestellt und näher diskutiert. Im folgenden Kapitel sind die Beiträge eingeladener Experten zu diesem komplexen Thema zusammengefasst.

Da Proben bioterroristisch relevanter Agenzien vom üblichen Routinebetrieb abweichen und z. B. als Umweltproben starke Verunreinigungen aufweisen können, stellen sie ganz besondere Anforderungen an die Diagnostik, so dass diese Nachweise in dafür spezialisierten Laboratorien durchgeführt werden. Die ersten Beiträge des folgenden Kapitels gehen näher auf verschiedene Nachweisverfahren ein, die bei der Labordiagnostik zum Einsatz kommen, wie beispielsweise molekulargenetische Methoden, immunologische Verfahren und Elektronenmikroskopie.

Neben der Verbesserung der Labormethoden wurden in den vergangenen Jahren auch Fortschritte in der Entwicklung von Schnelltests zur Vor-Ort-Detektion erzielt. Diese werden in den weiteren Beiträgen des Kapitels vorgestellt. Sie sind insbesondere im Falle eines bioterroristischen Anschlags von Bedeutung, da bei diesem eine große Anzahl von Personen gleichzeitig betroffen ist und Maßnahmen zur Verhinderung einer Ausbreitung schnell getroffen werden müssen, aber andererseits bei einem „Fehlalarm“ große ökonomische Schäden durch Sperrung von Gebäuden etc. entstehen. Aufgrund der Komplexität des Themas kann kein Anspruch auf Vollständigkeit der hier vorgestellten Verfahren erhoben werden. Anhand von Beispielen wird näher auf die unterschiedlichen Systeme eingegangen und der Stand der Entwicklung sowie die besonderen Anforderungen mobiler B-Detektionstechnologien

aufgezeigt. Darüber hinaus wird auf die Herausforderungen bei der Testung von Umweltproben und die Bewertung der Ergebnisse eingegangen. In Hinblick auf einen schnellen und zuverlässigen Nachweis eines breiten Spektrums von biologischen Agenzien vor Ort zeigt sich, dass bei der Entwicklung dieser Systeme wichtige Fortschritte gemacht wurden, aber weiterhin großer Bedarf besteht, diese weiterzuentwickeln und in der Praxis zu erproben.

Prof. Pauli vom Robert Koch-Institut (RKI) beschreibt in seinem Beitrag die speziellen Anforderungen an die Nachweisverfahren in der Labordiagnostik und die Vorgehensweise bei klinischen Proben und Umweltproben. Dabei werden am Beispiel der Pockendiagnostik Kriterien für die Bewertung von Ergebnissen dargestellt. Dr. Nitsche (RKI) geht näher auf die Bedeutung der Real-Time-Polymerasekettenreaktion (PCR) in der Erregerdiagnostik ein. Er beschreibt detailliert verschiedene spezifische und unspezifische Detektionsformate der PCR sowie deren Möglichkeiten und Grenzen. Mit dem Beitrag von Dr. Bannert et al. (RKI) werden die Verfahren und Möglichkeiten der elektronenmikroskopischen Schnell Diagnostik dargestellt und deren Vorteile als Verfahren für die orientierende Diagnostik beschrieben.

Im Beitrag von Dr. Russmann vom Wehrwissenschaftlichen Institut für Schutztechnologien – ABC-Schutz (WIS) werden die militärischen Forderungen der B-Aufklärung vorgestellt. Darüber hinaus wird ein Überblick über Verfahren zur Vor-Ort-Detektion von biologischen Kampfstoffen gegeben, die sich bei der Bundeswehr in der Entwicklung und Erprobung befinden. Frau Dr. Niederwöhrmeier (WIS) beschreibt an einem Beispiel den Entwicklungs- und Erprobungsstand eines immunologischen Verfahrens unter Nutzung von Mikropartikeln zum Nachweis von Proteinen, Toxinen und Mikroorganismen.

Dr. Grunow et al. (RKI, Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr) stellen das Verfahren eines Hand-Held-Testkits, der auf einer 3D-Immunofiltration beruht, sowie die Ergebnisse von Evaluierungsuntersuchungen dieses „Ultraschnelltests“ mit einem Bakterium und einem Virus vor. Am Beispiel von Botulinumtoxin werden durch Dr. Gessler et al. (Institut für angewandte Biotechnologie der Tropen an der Georg-August-Universität) Ergebnisse einer Evaluierungsstudie von kommerziell verfügbaren Lateral Flow Assays, die als Hand-Held-Testkits einsetzbar sind, vorgestellt und die Eignung dieser Tests für die Vor-Ort-Detektion diskutiert. Im Beitrag von Frau Dr. Dorner (RKI) wird eine Übersicht über verschiedene im RKI etablierte Verfahren sowie Ergebnisse zur

Evaluation der vorgestellten Detektionsmethoden für Rizin gegeben, wobei sowohl auf Laborverfahren als auch Methoden zur Vor-Ort-Detektion eingegangen wird.



## **5.2 Detektion von bioterroristisch relevanten Erregern im stationären Labor: Vorgehen bei klinischen und Umweltproben**

*Georg Pauli*

### **Zusammenfassung**

Der Verdacht eines Anschlages mit biologischen Agenzien kann sich durch das Auftreten einer Häufung an Erkrankungen in bestimmten Bevölkerungsgruppen oder Altersgruppen ergeben, jedoch auch durch Erkrankungen mit in der Region ungewöhnlichen Erregern. Das klinische Bild gibt dabei Hinweise auf die Erreger, die die Erkrankungen verursachen können. Aufgabe des Diagnostiklaboratoriums ist es, Testverfahren zu etablieren und vorzuhalten, die in der Lage sind, die in Frage kommenden Erreger zu identifizieren oder auszuschließen. Als Methode der Wahl bietet sich bei akuter Erkrankung der direkte Erregernachweis an (z. B. Virusisolierung, Antigen- bzw. Nukleinsäurenachweis). Insbesondere der Nukleinsäurenachweis mit Hilfe der Polymerasekettenreaktion (PCR, Real-Time-PCR) ist eine schnelle Nachweismethode, die durch entsprechende Modifikationen eine klare Differenzierung der Erreger ermöglicht. Serologische Untersuchungsmethoden können als Verlaufskontrolle eingesetzt werden.

Problematischer ist der Nachweis von viralen Erregern in Umweltproben. Hier fehlt in der Regel die Möglichkeit, anhand des klinischen Bildes die Erregersuche auf bestimmte Viren zu orientieren und einzugrenzen. Daher ist es oft notwendig, auf eine breite Palette an Erregern hin zu untersuchen. Neben dem Nukleinsäure- bzw. Antigennachweis ist es notwendig, auch den Nachweis der Lebensfähigkeit der Erreger durch Anzucht in Zellkultur oder im Tier (eventuell im bebrüteten Hühnerei) durchzuführen. Zu berücksichtigen ist dabei außerdem, dass Inhibitoren die Aussagekraft verschiedener Testverfahren beeinträchtigen und umfangreiche Kontrollen notwendig machen.

Aufgabe der eingesetzten Testverfahren ist es, mit hoher Spezifität und Sensitivität entweder die Anwesenheit eines bestimmten viralen Erregers zu belegen oder – soweit überhaupt möglich – vollständig auszuschließen. Die Analyse sowohl von klinischen als auch insbesondere von Umweltproben

erfordert zusätzlich zur labortechnischen Untersuchung eine gründliche Risikobewertung, die die Möglichkeit einer Infektionsgefahr oder Ausbreitung mit einschließt.

Seit den Anschlägen mit Anthraxsporen im Oktober 2001 in den USA wird zunehmend die mögliche Bedrohung der Bevölkerung durch terroristische Anschläge mit biologischen Agenzien diskutiert. Als „Waffen“ können Viren, Bakterien und Pilze, aber auch Toxine, die von Bakterien oder Pflanzen gebildet werden, eingesetzt werden. Solche Agenzien kommen in der Natur vor und man kann die Ausgangsmaterialien relativ einfach erlangen und unter geeigneten Bedingungen vermehren oder isolieren. Wie sich bei den o. g. Anschlägen in den USA gezeigt hat, kann schnell eine Überforderung des Gesundheitssystems eintreten, die durch das zu beobachtende Panikpotenzial noch verstärkt werden kann.

### Eingruppierung von bioterroristisch relevanten Agenzien

In verschiedenen nationalen und internationalen Organisationen wird diskutiert, welche biologischen Agenzien sich für einen Anschlag besonders eignen. Immer wieder wird dabei die Liste der Centers for Disease Control (CDC; [www.bt.cdc.gov/agent/agentlist-category.asp](http://www.bt.cdc.gov/agent/agentlist-category.asp)) in den USA aufgeführt, welche die Agenzien in die Kategorien A, B und C (vgl. Tabellen 23 bis 25) unterteilt.

Kategorie A	Kritische Biologische Agenzien	
	<p>leicht zu verbreiten und von <b>Mensch zu Mensch</b> übertragbar, <b>hohe Mortalität</b>, hohe Belastung für das Gesundheitssystem, <b>hohes Panikpotenzial</b>, spezielle Vorbereitung des öffentlichen Gesundheitswesens erforderlich</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variola-major-Virus (Pocken)</li> <li>• <i>Bacillus anthracis</i> (Anthrax)</li> <li>• <i>Yersinia pestis</i> (Pest)</li> <li>• <i>Clostridium botulinum</i>-Toxin (Botulismus)</li> <li>• <i>Francisella tularensis</i> (Tularämie)</li> <li>• Hämorrhagische Fieber-Viren (Ebola, Marburg, Lassa, Junin [Argentine hemorrhagic fever] und verwandte Viren)</li> </ul>

Tab. 23 Kritische Biologische Agenzien (Kategorie A)



Kategorie B	Kritische Biologische Agenzien	
	relativ leicht zu verbreiten, moderate Morbidität und niedrige Mortalität, spezielle Maßnahmen zur Diagnostik und Krankheitsüberwachung (natürliches Infektionsgeschehen)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Coxiella burnetii</i> (Q-Fieber)</li> <li>• <i>Brucella spec.</i> (Bruzellose)</li> <li>• <i>Burkholderia mallei</i> (Rotz)</li> <li>• <i>Burkholderia pseudomallei</i> (Pseudorotz)</li> <li>• Rizin-Toxin (<i>Ricinus communis</i>)</li> <li>• Epsilon-Toxin (<i>Cl. perfringens</i>)</li> <li>• Staphylococcal Enterotoxin B</li> <li>• Virale Enzephalitis-Viren (Togaviren; e.g. Venezuelan equine encephalitis virus, Eastern equine encephalitis virus, Western equine encephalitis virus)</li> </ul>

Tab. 24: Kritische Biologische Agenzien (Kategorie B)

Kategorie C	Kritische Biologische Agenzien	
	„Emerging“-Pathogene, vektorübertragene Infektionen, zur leichteren Verbreitung eventuell gentechnisch zu verändern, leicht herzustellen, hohe Morbidität und Mortalität, hohe Belastung des Gesundheitssystems	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nipahvirus</li> <li>• Hantaviren</li> <li>• Krim-Kongo Hämorrhagisches Fiebertoxin</li> <li>• FSMEV (TBE, tick-borne encephalitis viruses)</li> <li>• Gelbfiebertoxin</li> <li>• multiresistente Tuberkulose-Erreger (TB)</li> </ul>

Tab. 25: Kritische Biologische Agenzien (Kategorie C)

Die sog. Australia-Gruppe, die sich aus insgesamt 38 Staaten der Europäischen Union und weiteren europäischen sowie außereuropäischen Staaten wie den USA, Kanada, Australien und Japan zusammensetzt, hat weitere Maßnahmen zur Verhinderung der Verbreitung von biologischen Agenzien vorgeschlagen. Diese Liste ist weitaus umfassender als die mit den als Kategorie A bis C aufgeführten Agenzien und bewertet sowohl menschen- und tier- als auch pflanzenpathogene Erreger.

([http://www.australiagroup.net/en/biological\\_agents.html](http://www.australiagroup.net/en/biological_agents.html)). In den Listen der Australia-Gruppe sind zusätzlich zu denen der CDC-Listen solche Agenzien aufgeführt, die ein hohes krank machendes Potenzial haben, jedoch häufig vorkommen. Obwohl ein Teil dieser Agenzien z. B. als Referenzmaterial für die Diagnostik benötigt wird, soll durch Restriktionen bei der Abgabe solcher Pathogene verhindert werden, dass sie an Personen und Institutionen gelangen, die sie für terroristische Anschläge nutzen könnten.

### **Vorbereitung auf Anschläge mit biologischen Agenzien**

Wie sich bei den Anschlägen mit Milzbrandsporen (Anthraxsporen) gezeigt hat, kann der Nachweis solcher Agenzien verhältnismäßig lange dauern, was die Einleitung von Therapiemaßnahmen erheblich verzögern kann. Um auf solche Anschläge ausreichend gut vorbereitet zu sein, ist es notwendig, geeignete Strukturen zu entwickeln, um einen Anschlag erkennen, das Agens identifizieren und geeignete Interventionsmaßnahmen einleiten zu können.

Im Prinzip lassen sich zwei Szenarien darstellen: Man beobachtet Krankheitsfälle, bei denen die Vermutung besteht, dass sie auf einen Anschlag mit biologischen Agenzien zurückzuführen sind. Oder es besteht der Verdacht, dass biologische Agenzien für einen Anschlag eingesetzt wurden, ohne dass bis zu diesem Zeitpunkt Krankheitsfälle aufgetreten wären. So wurden 2001 bei dem Anschlag mit Milzbrandsporen Briefe mit waffenfähigen Anthraxsporen verschickt und auf den Inhalt dieser Briefe hingewiesen. Enthält ein solcher Drohbrief keinen ernst zu nehmenden Hinweis auf seinen Inhalt, so hat man im Gegensatz zu klinischen Verdachtsfällen in der Regel keinen Anhaltspunkt, um welchen Erreger oder welche Erregergruppe es sich in sog. Umweltproben handeln könnte. Obwohl der Absender des Briefes einen Hinweis geben kann, kann dieser jedoch auch irreführend sein, so dass man mit verschiedensten Methoden versuchen muss, das in solchen Anschlagbriefen vorhandene Material zu charakterisieren. Nur dann kann eine Risikobewertung durchgeführt werden, um einschätzen zu können, welche Gefahr von solchen Briefen für Personen ausgeht, die mit ihnen in Kontakt gekommen sind.

Welche Anforderungen werden an Nachweisverfahren für hoch pathogene Agenzien im Falle eines Anschlages mit biologischen Waffen gestellt?

- Sensitivität:** Es müssen sehr geringe Mengen erfasst werden können und es darf möglichst keine falsch negativen Ergebnisse geben.
- Spezifität:** Es dürfen keine falsch positiven Ergebnisse auftreten, d. h. bei eng verwandten Erregern muss eine klare Differenzierung möglich sein.
- Dauer der Untersuchungen:** Die Zeit zwischen der Anamnese bei klinischen Verdachtsfällen oder dem Auffinden von verdächtigen Umweltproben und der Ergebnismitteilung der Laboruntersuchungen muss möglichst kurz sein. Eine verlässliche Risikobewertung sollte innerhalb weniger Stunden möglich sein. Solche kurzen diagnostischen Analysezeiten sind anzustreben, um frühzeitig geeignete Interventionsmaßnahmen einleiten zu können.

Mittelfristig sollten für die Analyse von Umweltproben oder bei Ausbrüchen vor Ort weitgehend automatisierbare, leicht zu bedienende Analysegeräte entwickelt werden. Dazu bieten sich zurzeit verschiedene Plattformen der Chip-Technologie an.

Bei einer Reihe von Anschlägen mit biologischen Agenzien hat sich gezeigt, dass diese nicht vorher angekündigt wurden oder im Nachhinein nicht darauf hingewiesen wurde. Als Beispiele sei hier der Anschlag mit Salmonellen auf eine Reihe von Salatbars in Restaurants in Oregon, USA, zu nennen. Insgesamt erkrankten in der Stadt The Dalles 751 Personen an Salmonellose (Torok et al., 1997).

Im Falle dieses Salmonellenausbruchs wurde erst Jahre später durch ein Mitglied der Bhagvan-Shree-Raineesh-Sekte bekannt, dass damit eine regionale Wahl beeinflusst werden sollte, da Erkrankte nicht wählen gehen konnten. In einem zweiten Fall erkrankten 12 von 45 Labormitarbeitern an schweren Diarrhöen. Die Isolate der Erkrankten stellten sich als identisch mit einem seltenen, in diesem Labor vorhandenen Isolat von *Shigella dysenteriae* dar. Diese Shigellen konnten aus Muffins isoliert werden, so dass eindeutig belegt war, dass es sich hier um einen Anschlag mit Krankheitserregern handelte, der offensichtlich von einem Mitarbeiter des Labors ausging (Kolavic et al., 1997).

Wie man aus den genannten Anschlägen mit Milzbrandsporen, Salmonellen und Shigellen ableiten kann, können epidemiologische Beobachtungen Hinweise auf einen Anschlag mit biologischen Agenzien liefern. Beispiele für solche Hinweise sind in Tabelle 26 zusammengefasst.

#### Epidemiologische Hinweise auf bioterroristische Anschläge

- Ausbrüche von Erkrankungen mit gleichen Symptomen in bestimmten Bevölkerungsgruppen
- zahlreiche Fälle von unerklärbaren Erkrankungen oder Todesfällen
- Auftreten von Erkrankungen in Altersgruppen, in denen die Erkrankung nicht zu erwarten ist
- unerwartet hohe Zahl von Erkrankungen
- ungewöhnliche Resistenzprofile, z. B. Antibiotikaresistenz
- ungewöhnliche Erkrankungen, die auf bestimmte Übertragungswege hinweisen
- Auftreten von Erkrankungen außerhalb von Endemiegebieten, z. B. virale hämorrhagische Fieber in Deutschland
- Übertragungen von Krankheiten durch Vektoren, die in der Region nicht verbreitet sind
- Auftreten neuer Varianten eines Erregers
- Auftreten von Menschenpocken (Variola; Smallpox)

Tab. 26: Epidemiologische Hinweise auf bioterroristische Anschläge

## Diagnostik

### *Untersuchungen von Umweltproben*

Aus den Erfahrungen mit den Milzbrandbriefen in den USA ist davon auszugehen, dass Postsendungen, die für einen Anschlag mit biologischen Agenzien eingesetzt werden, auch weitere Erreger enthalten können.

Bei der Untersuchung solcher Proben aus Briefen, kurz Umweltproben genannt, empfiehlt das Robert Koch-Institut ein stufenweises Vorgehen, um einen Erreger, der in einer solchen Sendung vorhanden sein kann, zu identifizieren und zu charakterisieren:

1. Aufbereitung der Proben für eine erste orientierende Diagnostik:
  - Untersuchungen mit dem Elektronenmikroskop
  - Untersuchungen mit dem Lichtmikroskop (Bakterioskopie)
2. Anzucht von Erregern aus dem Probenmaterial

3. Molekulare Untersuchungen mit Hilfe der PCR und der Sequenzierung
4. Einsatz von serologischen Untersuchungsmethoden

Mit Hilfe der mikroskopischen Untersuchungsmethoden sind eine orientierende Diagnostik und eine erste Risikobewertung möglich (Abb. 56). Nach Fixierung des Materials z. B. aus verdächtigen Briefen – verwendet wird eine gepufferte Formaldehydlösung (10 Prozent Formaldehyd, pH 7.2) – werden die Proben für die EM und die Lichtmikroskopie aufbereitet und untersucht (Gelderblom, Bannert & Pauli, 2007). Aus Untersuchungsergebnissen kann eine erste Risikobewertung durchgeführt werden:

- Enthält die Probe biologisches Material (Bakterien, Sporen, Viren)?
- Wie hoch ist die Belastung mit diesen Agenzien?
- Wie ist die Beschaffenheit der Probe; besteht der Verdacht, dass es sich um waffenfähige Präparate handelt?

Parallel zu diesen Arbeiten werden Anzuchtversuche durchgeführt. Diese beschränken sich, wenn durch die mikroskopischen Untersuchungen keine zusätzliche Verdachtsdiagnose gestellt wird, in der Regel auf den Nachweis von hoch pathogenen Bakterien. Hierzu werden geeignete Festmedien (Agarplatten) und Flüssigkulturen angelegt. Das Wachstum von Kolonien wird nach mikrobiologischen Kriterien beurteilt und im Verdachtsfall eine molekulare Analyse mit Hilfe von Nukleinsäurenachweisverfahren (NAT) wie der Polymerasekettenreaktion (PCR) oder der quantitativen PCR (Real-Time-PCR) durchgeführt. Letztere Methode kann auch am Ausgangsmaterial durchgeführt werden, wenn sich aus den mikroskopischen Untersuchungen der Verdacht auf eine erkennbare Belastung durch Bakterien, Sporen oder Viren ergibt. Insbesondere die Elektronenmikroskopie ist in der Lage, wertvolle Hinweise für das weitere Vorgehen zu geben, wenn anhand von Untersuchungsergebnissen eine morphologische Eingruppierung des Erregers möglich ist (z. B. Hinweis auf Pockenviren).

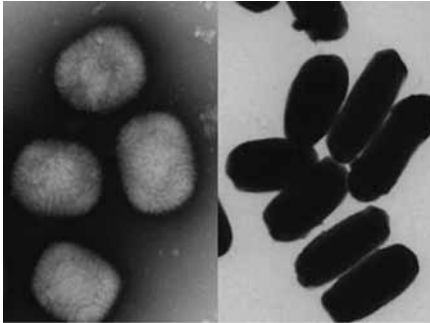


Abb. 56: Nachweis von Viren und Sporen in der Elektronenmikroskopie. Links: negativkontrastierte Orthopocken-Viren, rechts: Sporen von *Bacillus anthracis* in Negativkontrastierung. (Aufnahmen H. R. Gelderblom, Robert Koch-Institut).

### *Untersuchung von klinischen Proben*

Treten Krankheitsfälle auf, so geben die klinischen Symptome Hinweise darauf, um welche Krankheitserreger es sich handeln könnte. Hier kann dann eine gezielte Differentialdiagnostik durchgeführt werden. Als Beispiel sei hier die Diagnostik und Differentialdiagnostik von Pocken des Menschen angeführt, wie sie vom Robert Koch-Institut in Abstimmung mit den Fachgesellschaften empfohlen wird: [www.rki.de/cln\\_151/nn\\_494682/DE/Content/Infekt/Biosicherheit/Erreger/dl\\_pocken,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/dl\\_pocken.pdf](http://www.rki.de/cln_151/nn_494682/DE/Content/Infekt/Biosicherheit/Erreger/dl_pocken,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/dl_pocken.pdf).

Obwohl Anschläge mit Menschenpocken als unwahrscheinlich angesehen werden, stellen Infektionen mit deren Erreger eine der größten potenziellen Bedrohungen dar. Menschenpocken sind hoch kontagiös und breiten sich von Mensch zu Mensch aus. Nachdem die WHO die Pocken im Jahre 1979 als ausgerottet proklamiert hatte, wurden die Impfungen mit Vacciniavirus gegen Menschenpocken weltweit eingestellt, d. h. die unter 25 bis 30-Jährigen haben keinen Impfschutz mehr. Schätzungen gehen davon aus, dass bei einem Pockenvirusausbruch etwa 30 Prozent der ungeimpften Infizierten an der Krankheit versterben werden. Besonders im Hinblick auf die zwar bestehenden Interventionsmöglichkeiten – in Deutschland wurden für die Bevölkerung hundert Millionen Impfdosen an Vacciniavirus beschafft –, jedoch verbunden mit einer verhältnismäßig hohen Nebenwirkungsrate bei einer Impfung, muss eine verlässliche und zügige Diagnostik für Pockenviren vorgehalten werden.

Bei einem klinischen Verdacht auf eine Pockenvirusinfektion hat die Probengewinnung einen zentralen Stellenwert: Um eine stufenweise Diagnostik unter Berücksichtigung der Eingruppierung des Pockenerregers *Variola major* in die höchste Sicherheitsstufe (Risikogruppe 4) zu ermöglichen, wird vom RKI vorgeschlagen, bereits am Krankenbett Materialien nicht nur zu gewinnen, sondern auch gleich für die verschiedenen Untersuchungsmethoden vorzubereiten. Folgende Materialien können verwendet werden: Blut, Rachenabstriche, Vesikelinhalt und Krusten. Für die Elektronenmikroskopie wird das Material mit gepuffertem Formaldehyd (zwei bis vier Prozent) fixiert. Für die PCR erfolgt die Inaktivierung einer zweiten Probe mit geeigneten Reagenzien wie z. B. Guanidiniumisothiocyanathaltigem Puffer. Die Aufarbeitung der Nukleinsäure erfolgt dann nach Standardmethoden.

Der Vorteil dieser „bedside“-Vorbereitung der Proben ist, dass die nachfolgenden Untersuchungen mit der EM und der PCR unter „normalen“ Laborbedingungen (Sicherheitsstufe 2) erfolgen können, wohingegen der Umgang mit lebenden Variolaviren unter der Sicherheitsstufe 4 erfolgen muss. Mit der EM kann anhand der Morphologie eine erste Differenzierung der Erreger erfolgen. Neben bakteriellen Erregern sind differentialdiagnostisch Herpesviren, Orthopockenviren und Parapockenviren in Betracht zu ziehen.

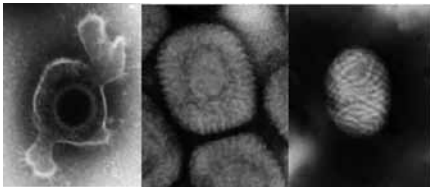


Abb. 57: EM-Differenzierung von Herpesviren (linkes Bild), Orthopockenviren (Mitte) und Parapockenviren (rechts); EM-Aufnahme von negativ kontrastierten Viruspartikeln. (Aufnahmen H.R. Gelderblom).

Die Elektronenmikroskopie ermöglicht lediglich eine morphologische Differenzierung (Abb. 57). Eine weitere Charakterisierung der Erreger erfolgt nach dem heutigen Stand der Technik mit molekularen Methoden.

Orthopockenviren, zu denen das menschliche Pockenvirus, *Variola major*, gruppiert wird, lassen sich mit dem EM nicht weiter differenzieren. Da mehrere Vertreter der Orthopocken in der Lage sind, Menschen zu infizieren (vgl. Tab. 27) und unter bestimmten Bedingungen auch zu generalisieren (z. B. Affenpocken- oder Vacciniavirus bzw. Kuhpockenvirus bei Immunsupprimierten), müssen validierte Verfahren zur Differenzierung der Orthopockenviren mit NAT wie PCR oder Real-Time-PCR mit anschließender Sequenzierung und Stammbaumanalyse zur Verfügung stehen (Nitsche, Ellerbrok & Pauli, 2004).

Virus	Wirt(e)	Wirtsbereich
Variola	Mensch	eng
Vaccinia	Mensch, Büffel, Kuh, Schwein, Kaninchen, natürlicher Wirt: unbekannt	breit
Affenpocken	Mensch, Menschenaffen, Affen, natürlicher Wirt: Eichhörnchen, Nager?	breit
Kuhpocken	Mensch, Katzen, Kuh, Ratte, natürlicher Wirt: Nager?	breit
Kamelpocken	Kamel	eng
Ectromelia	Mäuse, natürlicher Wirt: Wühlmäuse?	eng
Waschbärpocken	Waschbär (raccoon)	breit?
Wühlmauspocken	Wühlmäuse (vole)	eng
Uasin-Gisha-Pocken	Pferd, natürlicher Wirt: unbekannt	mittel
Taterapocken	Tatera kempi (Gerbil)	eng

Tab. 27: Wirtsspektrum von Orthopockenviren



## Kriterien für die Bewertung von Ergebnissen in der Pockenvirusdiagnostik

### Klinische Proben:

EM: Nachweis von Orthopockenviren = Verdacht auf Pockenvirusinfektion  
 PCR: positiv in validierter PCR für Variolavirus: Real-Time-PCR oder PCR mit Sequenzierung und phylogenetischer Analyse = bestätigt positiv

### Umweltproben:

EM: Nachweis von Orthopockenviren = Verdacht auf Vorliegen von menschlichen Pockenviren  
 PCR: positiv in validierter PCR für Variolavirus = begründeter Verdacht auf Vorliegen von Variolavirus

Nachweis von lebensfähigen Pockenviren durch Anzucht in Zellkultur und Bestätigung Variolavirus durch PCR (Real-Time-PCR oder PCR mit Sequenzierung und phylogenetischer Analyse) = bestätigt positiv.

Eine dritte Probe bleibt unbehandelt und kann für weitere Untersuchungen wie die Anzucht eingesetzt werden.

### Anforderungen an die Nachweisverfahren

Prinzipiell müssen alle diagnostischen Nachweisverfahren validiert und möglichst über externe Qualitätssicherungsmaßnahmen überprüft sein. Um die ständige Einsatzbereitschaft der Diagnostik für hochpathogene Erreger gewährleisten zu können, sollte angestrebt werden, diese Nachweisverfahren z. B. bei klinischen Proben einzusetzen. Im Rahmen der Pockenvirusdiagnostik kommen dabei klinische Bilder in Frage, die eine Differenzialdiagnostik für Orthopockenviren, Parapockenviren und Herpesviren erfordern. Anhand solcher Proben kann einerseits die Zuverlässigkeit der Nachweisverfahren und andererseits die Zeit bis zur Erstellung des Befundes überprüft werden. Dies lässt sich z. B. im Rahmen von Konsiliartätigkeiten durchführen, etwa im Konsiliarlabor für Pockenviren des Robert Koch-Instituts.

In den bisher untersuchten Einsendungen zur Abklärung, ob eine Infektion mit Ortho- oder Parapockenviren bei einem Patienten vorliegt, konnte mit dem am RKI etablierten diagnostischen Ansatz (EM und NAT-Verfahren) bereits etwa neunzig Minuten nach Eingang der Probe eine morphologische Charakterisierung durch EM erfolgen. Bei einer fixierten Probe ist ein erster orientierender Befund bereits in weniger als zwanzig Minuten möglich. Die molekulare Charakterisierung war 270–300 Minuten nach Eingang der Probe abgeschlossen. Die Ergebnisse in beiden Verfahren werden dann zur endgültigen Befundung eingesetzt und dem Einsender umgehend mitgeteilt.

## **Ausblick**

In verschiedenen Expertenlaboratorien sind Methoden zum Nachweis von Agenzien etabliert, die für bioterroristische Anschläge eingesetzt werden können. Dies umfasst sowohl die in Kategorien A bis C eingruppierten Erreger als auch solche, die in der Liste der Australia-Gruppe aufgeführt sind.

Kurz- bis mittelfristig müssen die in den verschiedenen Expertenlaboratorien etablierten und dort häufig nur intern validierten Nachweisverfahren durch externe Qualitätssicherungsmaßnahmen (EQA), z. B. durch Ringversuche, im Hinblick auf ihre Sensitivität und Spezifität überprüft werden. Da in den verschiedenen Ländern nur jeweils wenige Laboratorien entsprechende Nachweisverfahren vorhalten, muss eine europäische, wenn nicht sogar weltweite Initiative zur EQA etabliert werden.

Fernziel der Diagnostik von hoch pathogenen Erregern sollte die Entwicklung von diagnostischen Chips sein, die in der Lage sind, in einer Art Screeningverfahren möglichst vor Ort in Umwelt- oder klinischen Proben eine große Anzahl von Erregern oder Toxinen zu erkennen. Die Ergebnisse aus dem Screeningverfahren müssen jedoch von benannten Expertenlaboratorien überprüft und bestätigt werden, ehe die notwendigen Interventionsmaßnahmen ergriffen werden.

## Literaturhinweise

GELDERBLOM, H. R., BANNERT, N. & PAULI, G. (2007). „Arguments pro disinfection in diagnostic electron microscopy: a response to Madeley and Biel.“ *J.Infect.*, 54(3), 307-308.

KOLAVIC, S. A., KIMURA, A., SIMONS, S. L., SLUTSKER, L., BARTH, S. & HALEY, C. E. (1997). „An outbreak of *Shigella dysenteriae* type 2 among laboratory workers due to intentional food contamination.“ *JAMA.*, 278(5), 396-398.

NITSCHKE, A., ELLERBROK, H. & PAULI, G. (2004). „Detection of orthopoxvirus DNA by Real-Time-PCR and identification of variola virus DNA by melting analysis.“ *J.Clin.Microbiol.*, 42(3), 1207-1213.

TOROK, T. J., TAUXE, R. V., WISE, R. P., LIVENGOOD, J. R., SOKOLOW, R., MAUVAIS, S. et al. (1997). „A large community outbreak of salmonellosis caused by intentional contamination of restaurant salad bars.“ *JAMA.*, 278(5), 389-395.



## 5.3 Detektion von bioterroristisch relevanten Toxinen am Beispiel Rizin

Brigitte G. Dorner

### Zusammenfassung

Zu den giftigsten bekannten Pflanzentoxinen gehört Rizin, das in den Samen des Wunderbaums *Ricinus communis* enthalten ist. Obwohl die Toxizität des Rizins etwa tausendfach geringer ist als die des Botulinumtoxins, zählt Rizin zu den im Zusammenhang mit B-Kampfstoffen am häufigsten genannten Toxinen. Dies liegt zum einen am ubiquitären Vorkommen der Pflanze und deren großtechnischer Nutzung zur Herstellung von Rizinusöl. Zum anderen ist die Präparation des Toxins aus den Pflanzensamen technisch relativ einfach. Außerdem gibt es im Falle einer Intoxikation bislang noch keine wirksamen Gegenmittel. Angriffe auf Einzelpersonen mittels Rizins wurden bereits verübt (Ermordung des bulgarischen Dissidenten Markov, 1978). Vor diesem Hintergrund stellt die Verwendung von Rizin als mögliche bioterroristische Waffe im Rahmen von Anschlägen auf kleinere bis mittlere Personengruppen kein unrealistisches Szenario dar, zumal bereits 2003 Hinweise auf Experimente zur Nutzung von Rizin im Umfeld einer islamistischen Gruppe in London gefunden wurden. Daher besteht der dringende Bedarf, schnelle, verlässliche und hochsensitive Detektionsmethoden zu etablieren, die nicht nur im stationären Laborbereich, sondern auch bei der Vor-Ort-Detektion angewendet werden können.

Im vorliegenden Beitrag wird eine Übersicht über klassische immunologische Methoden für den Laborbereich gegeben (ELISA, Western Blot sowie Anreicherungsverfahren) und aktuelle Entwicklungen auf dem Gebiet der Vor-Ort-Detektion (elektrischer Biochip, *Hand-Held*-Testkits) vorgestellt.

Das Pflanzentoxin Rizin ist in den Samen des „Wunderbaums“ *Ricinus communis* enthalten, seine halbmaximale letale Dosis liegt bei  $LD_{50} = 3 \mu\text{g}/\text{kg}$  (Franz, 1997). Es besteht aus einer rezeptorbindenden Untereinheit (B-Kette) und einer katalytischen Untereinheit (A-Kette), die jeweils ca. 31 kDa umfassen und über eine Disulfidbrücke kovalent verbunden sind (Olsnes & Kozlov, 2001). Die B-Kette, ein Lektin, vermittelt die Bindung des Rizins an Galactose und andere

Zuckerstrukturen auf der Zelloberfläche, die anschließende Internalisierung und den retrograden Transport des Toxins durch den Golgi-Apparat zum endoplasmatischen Retikulum, wo die A-Kette ins Zytosol freigesetzt wird (Sandvig & van, 2002). Dort spaltet die A-Kette sehr selektiv einen einzelnen Adeninrest aus einer exponierten Schleife der zellulären 28S rRNA ab, was zum Abbruch der Proteinbiosynthese und damit letztlich zum Zelltod führt (Audi, Belson, Patel, Schier & Osterloh, 2005). Die Samen von *R. communis* enthalten neben Rizin ein weiteres toxisches Lektin, das *R. communis*-Agglutinin, das zu ca. 90 Prozent sequenzidentisch zum Rizin ist und aus zwei nicht kovalent verbundenen A-B-Dimeren besteht (Lin & Li, 1980). Die Toxizität des Agglutinins ist um einen Faktor 40-100 geringer als die des Rizins (Lin & Liu, 1986; Zhan & Zhou, 2003). Eine zusätzliche Komplexität resultiert aus der Tatsache, dass aus verschiedenen *R. communis*-Kultivaren verschiedene Isolektine isoliert wurden, die als Rizin D und Rizin E bezeichnet werden und die sich in ihrer B-Kette unterscheiden: die B-Kette des Rizin E bildet ein Hybrid aus der B-Kette des Rizin D und der B-Kette des Agglutinins (Araki & Funatsu, 1987).

Die Ausgangssituation nach den Anschlägen 2001 in den USA stellte sich so dar, dass es keine standardisierten, kommerziell erhältlichen Diagnostika zur Detektion von Rizin – insbesondere aus Lebensmitteln – gab. Vom Standpunkt der Diagnostik ist die Detektion von Toxinen anspruchsvoll, denn Toxine sind auch in Abwesenheit des produzierenden Organismus (und seiner DNA) toxisch. Dies bedeutet, dass die Detektion der Toxine nicht – wie bei vermehrungsfähigen Pathogenen wie Viren und Bakterien – auf dem Nachweis der DNA beruhen kann, sondern dass das Protein selbst nachgewiesen werden muss. Grundsätzlich gibt es hier die Möglichkeit, die Präsenz des Proteins über immunologische oder proteinbiochemische Methoden zu detektieren oder alternativ die funktionelle Aktivität des Toxins zu messen.

In der Vergangenheit wurden verschiedene immunologische Detektionsmethoden beschrieben, die zum Nachweis von Rizin geeignet sind. Um hier für das Gebiet der Bundesrepublik einen dauerhaften Zugang zu immunologischen Detektionsreagenzien sicher zu stellen, wurden in unserer Arbeitsgruppe am RKI polyklonale Antikörper (pAK, aus Huhn und Kaninchen) sowie diverse monoklonale Antikörper (mAK, aus Maus) mit Spezifität für Rizin generiert. Unsere Hybridome sind in der Lage, sowohl das native als auch das denaturierte Rizin bzw. Agglutinin spezifisch zu binden. Mit diesen Reagenzien haben wir

folgende Detektionsverfahren für Rizin etabliert, die im stationären Laborbereich angewendet werden können:

- Zytotoxizitäts-Assay
- Sandwich-ELISA
- Western Blot
- Immunomagnetische Anreicherungsverfahren

Beim Zytotoxizitäts-Assay werden adhärenente Vero-Zellen mit Rizin in unterschiedlichen Konzentrationen für 24-48 Stunden inkubiert, bis der zytopathische Effekt des Toxins mikroskopisch sichtbar wird. Das Ausmaß der Zellschädigung kann durch eine Lebend-/Tod-Färbung photometrisch quantifiziert werden, wobei eine Sensitivität von 1 ng/ml Rizin in Puffer oder flüssigen Lebensmitteln wie Milch oder Coca Cola erreicht wird (Tab. 28). Eine ähnliche Zellschädigung wie durch Rizin wird auch durch andere A-B-Toxine wie Abrin oder Shigatoxin induziert, d. h. die Spezifität des Tests muss durch Blockade mit spezifischen Antikörpern überprüft werden. Durch Vorinkubation der rizinhaltigen Probe mit unseren polyklonalen Antikörpern bzw. mit einzelnen monoklonalen Antikörpern sind wir in der Lage, die funktionelle Aktivität des Rizins spezifisch zu blockieren. Das Verfahren eignet sich aufgrund seines Zeitaufwands nicht als schnelle Untersuchungsmethode, ist aber wertvoll zur Verdachtsbestätigung, zumal hier tatsächlich die biologische Aktivität des Toxins *in vitro* bestimmt wird.

Mit Hilfe unserer eigenen mAK und pAK wurden in unserem Labor Sandwich-ELISA-Verfahren etabliert, die zur Detektion des Rizins bzw. Agglutinins aus Puffer oder flüssigen Lebensmitteln geeignet sind. Die Sensitivität der ELISA-Verfahren ist mit 0,01 ng/ml in Puffer und Milch exzellent (Tab. 28). Ein klassischer Western Blot ist hier je nach Probenmatrix im Vergleich deutlich weniger sensitiv, erlaubt aber aufgrund der Größenfraktionierung der Probe die Unterscheidung der beiden toxischen Lektine Rizin und Agglutinin (Tab. 28). Neben den genannten klassischen immunologischen Verfahren haben wir ein Bead-basiertes Verfahren zur Anreicherung des Rizins aus Lebensmitteln etabliert: Bei diesem Verfahren werden magnetische Partikel verwendet, die kovalent mit Antikörpern gegen Rizin gekoppelt werden. Nach Anreicherung des Toxins aus komplexen Lebensmittelproben wird das Toxin entweder direkt auf den Magnetpartikeln immunologisch detektiert (Bead-basierter ELISA) oder abgelöst und im Western Blot dargestellt. Mit diesem Verfahren wird eine

Detektionsgrenze von 1 ng/ml aus Puffer oder Milch erreicht, das Verfahren ist darüber hinaus schnell und daher zur laborgestützten Standarddiagnostik geeignet. Alle hier beschriebenen Labormethoden haben den Vorteil, dass sie in jedem immunologischen bzw. biochemischen Labor ohne spezielle Ausrüstung durchgeführt werden können. Sie setzen allerdings eine gewisse Grund-erfahrung in experimenteller Arbeit voraus und können nicht ohne weiteres im Feld von ungeschulten Personengruppen eingesetzt werden. Gegenwärtig konzentrieren sich weltweit die Arbeiten auf die Entwicklung von Schnelltests zur Vor-Ort-Detektion von bioterroristisch-relevanten Toxinen wie Rizin, die auch von ungeschulten Personen eingesetzt werden können. In diesem Zusammenhang hat unser Kooperationspartner M. Avondet (Labor Spiez, Schweiz) die auf dem kommerziellen Markt erhältlichen Lateral-Flow-Assays zur Rizin-Detektion evaluiert (z. B. Fa. Tetracore/Alexeter). Diese sehr einfach durchzuführenden Tests beruhen auf dem Prinzip der Immunochromatographie und liefern innerhalb von 20 min. Ergebnisse (Tab. 28). Die Sensitivität der Lateral-Flow-Assays erwies sich als schlechter im Vergleich zu den stationären Labormethoden und es zeigte sich außerdem eine gewisse Fehleranfälligkeit bei der Messung von verschiedenen rizinhaltigen Probenmaterialien (falsch positive bzw. falsch negative Ergebnisse).

Parallel zu den technisch einfachen Lateral-Flow-Assays laufen weltweit intensive Forschungsarbeiten zur Entwicklung von Systemen zur Vor-Ort-Detektion von Toxinen auf der Basis von miniaturisierten und automatisierten Sandwich-ELISA-Immunoassays, die zum Teil auch multiplexfähig sind, d. h. hier wird es in Zukunft möglich sein, mehrere Toxine simultan aus einer Probe zu messen (z. B. Fa. GARM Systems/Jenoptik, Jena; Fa. eBiochip Systems, Itzehoe). In einer Kooperation mit dem Fraunhofer Institut für Siliziumtechnologie (Itzehoe) entwickeln wir einen portablen, elektrischen Biosensor zur Toxindetektion. Es handelt sich hierbei um einen elektrischen Biochip, auf dem zurzeit parallel acht verschiedene Sandwich-ELISA durchgeführt und gemessen werden können. Das Verfahren ist sehr schnell (20 min) und funktioniert gegenwärtig zur parallelen Detektion von Rizin und Staphylokokken Enterotoxin B (Tab. 28). Zur Weiterentwicklung dieser und ähnlich viel versprechender Plattformen ist es notwendig, hochspezifische und sensitive mAK und pAK für weitere bioterroristisch relevante Toxine (Botulinumtoxine A, B, E, F, Shigatoxine, Abrin etc.) zu entwickeln und diese in die entsprechenden Plattformen zu implementieren. Zukünftige Arbeiten werden sich darauf konzentrieren, die automatisierten Vor-Ort-Detektionssysteme für die Detektion einer breiten



Palette von Toxinen weiter zu optimieren, vergleichend zu testen und anhand geeigneter Realproben (Patientenproben, Lebensmittelproben, Umweltproben) zu validieren.

Methode	Detektionslimit		Zeit
	PBS	Milch	
<b>Stationäre Methoden:</b>			
Zytotoxizitäts-Assay	1 ng/ml	1 ng/ml	24-48 h
ELISA	0,01 ng/ml	0,01 ng/ml	3-4 h
Western Blot	3 ng/ml	30 ng/ml	6 h
Bead-ELISA	1 ng/ml	1 ng/ml	2 h
<b>Vor-Ort-Detektion:</b>			
Lateral-Flow-Assay	10 ng/ml	50 ng/ml	15 min
Elektrischer Biochip	1 ng/ml	Nicht getestet	20 min

Tab. 28: Vergleich unterschiedlicher Detektionsmethoden für Rizin. In der Tabelle sind die Detektionslimits für Rizin aus physiologischem Puffer (PBS) und Milch gegenüber gestellt, parallel dazu ist der Zeitbedarf für den experimentellen Nachweis gezeigt.

## Literaturhinweise

ARAKI, T. & FUNATSU, G. (1987). The complete amino acid sequence of the B-chain of ricin E isolated from small-grain castor bean seeds. Ricin E is a gene recombination product of ricin D and *Ricinus communis* agglutinin. *Biochim.Biophys. Acta.*, 911(2), 191-200.

AUDI, J., BELSON, M., PATEL, M., SCHIER, J. & OSTERLOH, J. (2005). Ricin poisoning: a comprehensive review. *JAMA.*, 294(18), 2342-2351.

FRANZ, D. R. (1997). Defense against toxin weapons. In R.Zajtchuk & R. F. Ballamy (Eds.), *Textbook of military medicine* (pp. 603-620).

LIN, J. Y. & LIU, S. Y. (1986). Studies on the antitumor lectins isolated from the seeds of *Ricinus communis* (castor bean). *Toxicon.*, 24(8), 757-765.

LIN, T. T. & LI, S. L. (1980). Purification and physicochemical properties of ricins and agglutinins from *Ricinus communis*. *Eur.J.Biochem.*, 105(3), 453-459.

OLSNES, S. & KOZLOV, J. V. (2001). Ricin. *Toxicon*, 39, 1723-1728.

SANDVIG, K. & VAN, D. B. (2002). Transport of protein toxins into cells: pathways used by ricin, cholera toxin and Shiga toxin. *FEBS Lett.*, 529(1), 49-53.

ZHAN, J. & ZHOU, P. (2003). A simplified method to evaluate the acute toxicity of ricin and ricinus agglutinin. *Toxicology.*, 186(1-2), 119-123.

## 5.4 Elektronenmikroskopische Erregerdiagnostik bei vermuteten bioterroristischen Anschlägen

*Norbert Bannert · Hans R. Gelderblom · Michael Laue · Muhsin Özel*

### Zusammenfassung

Die Beurteilung von Probenmaterial potenzieller bioterroristischer Attacken und anderer infektionsbiologischer Notfallsituationen gewinnt durch den frühen Einsatz mikroskopischer Verfahren an Schnelligkeit und Sicherheit. Das konventionelle elektronenmikroskopische Negativkontrastverfahren bietet die Möglichkeit eines ersten Befundes in weniger als zwanzig Minuten nach Eingang des fixierten Probenmaterials.

Es werden nicht nur alle viralen Erreger, sondern auch Bakterien, Sporen und andere Bestandteile dieser Größenordnungen visualisiert. Hierzu sind keine spezifischen Reagenzien wie Antikörper, Primer oder Sonden nötig, die das diagnostische Spektrum einschränken. Unbekannte, unerwartete oder genetisch modifizierte Keime können deshalb diagnostiziert werden. Spezifische Antikörper werden jedoch für eine exakte Typisierung morphologisch identischer Erreger mit Hilfe der Immuno-EM benötigt.

Die elektronenmikroskopische (EM) Diagnostik ist nicht geeignet für das Screening großer Probenmengen und benötigt morphodiagnostische Kenntnisse und Erfahrungen. Aufgrund ihrer Vorteile sollte die Methode in bioterroristischen (BT)-Verdachtsfällen und ähnlichen kritischen Gefahrensituationen eingesetzt werden, um frühzeitig eine erste orientierende Diagnose zu erhalten oder eine höhere Erregerkonzentration in einer Probe auszuschließen.

## Einleitung

Deutschland ist heute in starkem Maße abhängig von globalen politischen und ökonomischen Entwicklungen. Vertiefte Handelsbeziehungen, effiziente Telekommunikation und ein intensives Verkehrs- und Reisewesen beeinflussen zunehmend das Leben unserer Gesellschaft. Offenheit, Mobilität, veränderte Lebensweisen und militärische Engagements in Krisenherden bieten nicht nur vielfältige Chancen und Optionen, sondern erhöhen auch das biologische Gefahrenpotenzial, dem die Gesellschaft und ihre Regierung durch geeignete Maßnahmen begegnen müssen. Eine besondere Bedrohung in diesem Kontext stellen zweifellos die rasche Ausbreitung neuer oder neuartiger Infektionskrankheiten und die absichtliche Freisetzung von bioterroristisch relevanten Keimen oder Toxinen dar. Neue Gefahren drohen durch bis dato unbekannte oder fremde, meist vom Tier auf den Menschen übertragene Infektionserreger (Kurth, 2004). Die schnelle globale Ausbreitung der SARS-Epidemie (Ksiazek et al., 2003b) und der Ausbruch von Affenpocken im Jahr 2003 im mittleren Westen der USA sind dafür gute Beispiele (Reed, Melski, Graham & Regnery, 2004). Aktuell wird eine katastrophale Grippe-Pandemie befürchtet, falls das H5N1-Geflügelvirus den Transfer auf den Menschen bewerkstelligt und hier nach entsprechender Anpassung eine effiziente Mensch-zu-Mensch-Übertragung erreicht. Der Einzelne und das öffentliche Gesundheitswesen werden zudem durch längst besiegt geglaubte Infektionskrankheiten bedroht, zu denen auch das Auftreten antibiotikaresistenter Keime beiträgt.

Die gestiegene terroristische Bedrohung und die 2001 in den USA aufgetauchten Anthraxbriefe haben das schwer zu kalkulierende Risiko eines Anschlages mit biologischen Waffen erheblich erhöht. Die genannten Ereignisse und die nachfolgende Flut an Drohbriefen stellten die Gesundheitsbehörden der meisten Industrieländer vor erhebliche Probleme. Eine ausreichend sichere und rasche Diagnostik der für bioterroristische Zwecke geeigneten Erreger existierte nicht oder wurde nur an sehr wenigen Instituten vorgehalten. Die für BT-Angriffe geeigneten Keime werden heute nach den von ihnen ausgehenden Gefahren gruppiert (Lane, Montagne & Fauci, 2001). Ausschlaggebend sind hierbei Faktoren wie Ausbringmöglichkeit, Mensch-zu-Mensch-Übertragungsrate, Morbidität, Letalität, Anforderungen an das Gesundheitswesen und ihr Panikpotenzial. In der potenziell gefährlichsten Kategorie A finden sich u. a. das Pockenvirus (siehe Abb.58), der Erreger der Pest und des Milzbrandes.

In den vergangenen Jahren wurden erhebliche Anstrengungen unternommen, die Diagnostik dieser Keime und das Notfallmanagement im Falle einer Freisetzung zu verbessern. Die Herausforderungen durch den Bioterrorismus sowie „emerging“ und „re-emerging infections“ sind aber nach wie vor erheblich. Ausbrüche oder Freisetzungen können nur durch eine Vielzahl abgestimmter Maßnahmen beherrscht oder wenigstens eingegrenzt werden. Voraussetzung für ein erfolgreiches Management solcher biologischer Gefahrensituationen sind zunächst das rasche Erkennen des Ausbruchs bzw. des BT-Angriffs und die Bestimmung des Erregers. Die dabei eingesetzte Labormethodik muss zuverlässig, schnell und spezifisch sein, denn das Ergebnis der Untersuchung ist eines der wichtigsten Bestandteile einer fundierten Risikoanalyse, die das weitere Handeln bestimmt (Pauli & Ellerbrok, 2003).

### **Elektronenmikroskopische Schnelldiagnostik**

Die elektronenmikroskopische (EM) Schnelldiagnostik, frühzeitig als „front line“-Methode eingesetzt, bietet eine Reihe von Vorteilen, die bei der Untersuchung von BT-Verdachtsmaterial und in diagnostischen Notfallsituationen sehr wertvoll sind (Gelderblom, 2003). Für EM Schnelldiagnostik wird im Wesentlichen die Negativkontrastierungs-Technik eingesetzt. Nach kurzer Adsorption des Probenmaterials an ein hydrophiles Objektträgersetz und Waschschritten erfolgt die Kontrastierung mit Schwermetallsalzen. Der dabei entstehende amorphe Niederschlag liefert im Elektronenstrahl ein detailreiches Abbild der Erreger.

Angesichts der kurzen Präparationszeiten ist es möglich, schon nach weniger als zwanzig Minuten nach dem Eintreffen der fixierten Probe im EM-Labor einen ersten orientierenden Befund zu erhalten. Aufgrund der kurzen Wellenlängen der Elektronenstrahlung und des damit verbundenen hohen Auflösungsvermögens lassen sich alle Erreger, von den kleinsten Viren bis zur Größe von Bakterien, Sporen und kleineren Parasiten, visualisieren. Der offene Blick auf alle partikulären Bestandteile der Probe erlaubt sogar das Erkennen von völlig unerwarteten Erregern. Die eindeutige EM-Diagnose von Orthopocken im Probenmaterial des oben erwähnten Affenpockenausbruchs in den USA ist ein Beispiel dafür. Da keine spezifischen Reagenzien, Sequenzinformationen oder Epitope benötigt werden, ist das diagnostische Spektrum extrem groß und genetisch modifizierte Keime, unbekannte Erreger oder neuartige Varianten

können schnell visualisiert werden, wie im Falle der Identifizierung eines Coronavirus als Ursache von SARS geschehen (Ksiazek et al., 2003a).

Die EM-Diagnostik führt auf Grund der beobachteten morphologischen Merkmale meist zur Familie des Erregers. Eine weitergehende, spezifischere Bestimmung morphologisch identischer Keime gleicher Größe ist mit der konventionellen EM-Schnelldiagnostik unter Verwendung der Negativkontrastmethode nicht möglich. Die zu erreichende orientierende Bestimmung reicht dem Kliniker oder Epidemiologen häufig schon als Differentialdiagnose, um die notwendigen ersten Schritte, eine antivirale oder antibakterielle Therapie und/oder Quarantänemaßnahmen, einzuleiten. Dem Labor gibt sie Hinweise für die gezielte weitere Charakterisierung des nachgewiesenen Erregers. Mit Hilfe spezifischer Antikörper oder Antiseren kann auch elektronenmikroskopisch eine genaue Typisierung erfolgen.

Wichtig für den Erfolg der morphologischen Diagnostik sind ausreichende Partikelkonzentrationen ( $>10^5 - 10^6$ /ml) und ihre effiziente Adhäsion auf den Trägernetzen. Im Falle eines BT-Angriffes ist davon auszugehen, dass hohe Erregerkonzentrationen vorzufinden sein werden. So enthielt einer der 2001 versandten Anthraxbriefe ca.  $10^{12}$  Sporen (Marshall & Gelderblom, 2005). Ausreichend hohe Erregermengen für die EM-Diagnostik sind in Hautläsionen, Stuhl- und Urinproben, Nasensekreten und Zellkulturen häufig gegeben. Bei Bedarf stehen effiziente Anreicherungsverfahren zur Verfügung (Biel & Gelderblom, 1999); (Gelderblom & Bannert, 2005).

### **Elektronenmikroskopische Schnellschnittmethoden**

Falls eine zu untersuchende Probe nicht resuspendierbar ist oder ihre innere Struktur nicht erkennbar, aber von Bedeutung ist, muss sie in kleinere Einheiten zerlegt werden, ohne dass die Feinstruktur darunter leidet. In der Regel werden die Proben hierfür in ein hartes Medium eingebettet und danach in ultradünne Scheiben zerlegt, die mit dem Mikroskop durchstrahlbar sind. Die Standardverfahren sind vergleichsweise langwierig und nicht innerhalb eines Tages mit einer Diagnose abschließbar. Durch die Einführung neuer Techniken ist die Präparation ohne Einbußen bei der Qualität auf wenige Stunden reduzierbar (Schnellschnittverfahren).

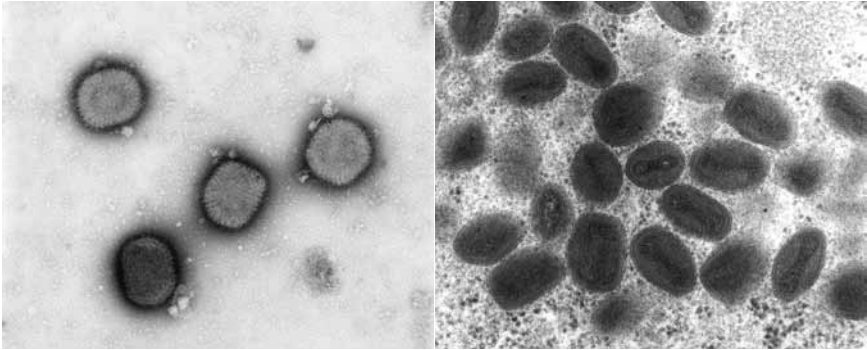


Abb. 58: EM-Aufnahmen von Orthopocken. A: Negativkontrastierung, B: Ultradünnschnitt-Präparat (Positivkontrastierung) von infizierten Zellen.

Mikrowellenunterstützte Arbeitsschritte sind für Schnellschnittverfahren besonders geeignet. Durch gezielte und schnelle Temperaturerhöhung werden die chemische Reaktion und der Transport von Molekülen beschleunigt. In ihren Ergebnissen unterscheiden sich mikrowellengestützte Schnellschnittverfahren nur unwesentlich von Standardverfahren (Leong & Sormunen, 1998). Nachteil der Mikrowellentechnologie ist, dass vergleichsweise hohe Temperaturen bei der Aushärtung der Einbettmedien (Kunststoffe) entstehen, die unter Umständen Moleküle für eine weitergehende Analytik (s. u.) verändern. Alternative Verfahren setzen auf eine Reduktion des Probenvolumens vor der eigentlichen Präparation (schnellerer Stofftransport), eine rasche chemisch katalysierte Polymerisation oder auf Gefrierverfahren. Für alle diese Methoden gilt jedoch, dass nur wenige systematisch erarbeitete Ergebnisse vorliegen und damit die diagnostische Referenz fehlt. Gefrierverfahren sind darüber hinaus apparativ aufwändig und werden daher in der diagnostischen Routine kaum eingesetzt.

Neben der morphologischen Information per se bieten Schnittpräparate auch den Vorteil, dass innere Strukturen freigelegt und für zytochemische sowie spektroskopische Methoden zugänglich werden. Diese Eigenschaft ermöglicht im Prinzip die Kombination morphologischer und molekularer Kriterien für die Diagnostik. Bisher werden derartige Methoden in der Routine-Erregerdiagnostik nicht angewendet. Ein potenzielles Einsatzgebiet für solche Verfahren ist die Sporendiagnostik, bei der mit immunologischen Techniken am

Schnitt eine weitere Differenzierung erfolgen könnte. Voraussetzung für die Anwendung dieser Technik ist die Herstellung von Antikörpern, die unter diesen besonderen diagnostischen Bedingungen eine sichere Differenzierung der Sporen verschiedener Arten oder auch Stämme ermöglicht (z. B. zwischen *Bacillus anthracis* und *Bacillus cereus*).

## Visuelle Diagnostik im Spiegel der Zeit

Der Wert visueller Diagnostik hat sich in der Vergangenheit mehrfach gezeigt: Ohne das Lichtmikroskop hätte Robert Koch 1876 nicht die „Ätiologie der Milzbrandkrankheit“ aufklären und damit die erfolgreiche Ära der Bakteriologie begründen können. Doch schon gegen Ende des 19. Jahrhunderts war klar, dass es neben den Bakterien eine Vielzahl weiterer Erreger – u. a. für Poliomyelitis, Grippe, Pocken, Maul- und Klauenseuche – geben musste, die erheblich kleiner als die bis dato bekannten Bakterien waren.

Virologie und EM haben sich aus ihren Anfängen heraus wechselseitig gefördert. Die wissenschaftlichen Grundlagen der Elektronenoptik waren schon früh in den 1930er Jahren des vergangenen Jahrhunderts erarbeitet worden. Anstoß für den Bau des Elektronenmikroskops durch die Industrie gaben aber erst die dringenden Fragen nach der Natur dieser unter dem Virusbegriff zusammengefassten Krankheitserreger (Kruger, Schneck & Gelderblom, 2000). Die ersten Aufnahmen eines Viruspartikels, des Ektromelie-Mäusepockenvirus, wurde 1938 von der Arbeitsgruppe um Ernst Ruska (Nobelpreis 1986) veröffentlicht (von Borries, Ruska & Ruska, 1938). Helmut Ruska, der Mediziner in der Arbeitsgruppe, charakterisierte die verschiedensten viralen Erreger, schlug eine morphologische Einteilung vor und kam damit schon 1943 zu einer naturwissenschaftlich begründeten Virusklassifizierung. Das EM wurde anschließend zur schnellen Differentialdiagnose von Pocken- und Herpesviren aus klinisch schwer zu differenzierenden Hautläsionen eingesetzt. Als die Elektronenmikroskopie in den 1960er Jahren vermehrt zum Einsatz kam, insbesondere mit der Einführung der Negativkontrastierung als einfacher und effektiver Präparationsmethode (Brenner & Horne, 1959), wurden zahlreiche neue Viren beschrieben und diagnostiziert. Wie die Ultrazentrifuge gehörte das EM, das sich auch bei der Pockeneradikation bewährt hat, zur Grundausrüstung in Forschung und Diagnostik. Mit dem Beginn der 1990er Jahre wurde aber die EM aus der Routinediagnostik durch andere Methoden, insbesondere durch



Nukleinsäureamplifikationstechniken und immunologische Verfahren mit viel höherem Probendurchsatz und höherer Sensitivität, weitgehend verdrängt. Als Indikation geblieben sind in erster Linie die Erreger-Schnelldiagnostik von Umwelt- und klinischen Proben in Notfallsituationen sowie die Diagnostik bei seltenen Hautläsionen, die Gastroenteritis-Diagnostik (insbesondere in der Veterinärmedizin), Zellkultur-Diagnostik und die Qualitätssicherung von Impfstoffen und anderen biologischen Präparaten (Gentile & Gelderblom, 2005).

Zu den technischen Entwicklungen, von denen die EM-Schnelldiagnostik in Zukunft profitieren wird, zählen die Nutzung des Internets in Verbindung mit der Telemikroskopie-Technologie für die Betrachtung von Proben durch einen Experten in einem entfernten Labors sowie die Verfügbarkeit von leistungsfähigen und leicht zu transportierenden Elektronenmikroskopen in der Größe eines Licht-Mikroskops (DeLong Instruments, Brno, CZ).

### **Qualitätssicherung in der EM-Diagnostik**

Neben gerätetechnischen und organisatorischen Voraussetzungen sind spezifische Erfahrungen notwendig, um einen visualisierten Erreger korrekt zu diagnostizieren. Diese Expertise kann nur durch einen gewissen Probendurchsatz und durch Schulung aufgebaut werden. Zur Qualitätssicherung der EM-Erregerdiagnostik werden deshalb vom Robert Koch-Institut Laborkurse und seit 1994 externe Ringversuche (EQA-EMV) durchgeführt, an denen zur Zeit 115 Labore aus 32 Ländern teilnehmen. Weitere Informationen zu diesen Veranstaltungen und Angeboten sind auf der Homepage des Konsiliarlaboratoriums für elektronenmikroskopische Erregerdiagnostik des Robert Koch-Instituts verfügbar ([www.rki.de/cln\\_169/nn\\_651760/DE/Content/Infekt/NRZ/EM/EM\\_\\_node.html?\\_nnn=true](http://www.rki.de/cln_169/nn_651760/DE/Content/Infekt/NRZ/EM/EM__node.html?_nnn=true); Leitung: Dr. Norbert Bannert; [BannertN@rki.de](mailto:BannertN@rki.de)). Ergänzende Informationen sind über den Arbeitskreis EM-Erregerdiagnostik der Deutschen Gesellschaft für Elektronenmikroskopie (AK-EMED der DGE über [Gelderblom@rki.de](mailto:Gelderblom@rki.de), [LaueM@rki.de](mailto:LaueM@rki.de) oder bei [www.dge-homepage.de](http://www.dge-homepage.de) zu erhalten).

## Literaturhinweise

BIEL, S. S. & GELDERBLOM, H. R. (1999). „Electron microscopy of viruses.“ *Virus Cell Culture – A Practical Approach*, 111-147.

BRENNER, S. & HORNE, R. (1959). „A negative staining method for high resolution electron microscopy of viruses.“ *Biochim.Biophys.Acta.*, 34, 103-110.

GELDERBLOM, H. R. (2003). „Elektronenmikroskopie im Methodenspektrum der Bioterrorismus-Diagnostik.“ *Bundesgesundheitsblatt.Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz.*, 46, 984-988.

GELDERBLOM, H. R. & BANNERT, N. (2005). „Diagnostic electron microscopy in infectious diseases emergencies and bioterrorism.“

GENTILE, M. & GELDERBLOM, H. R. (2005). „Rapid viral diagnosis: role of electron microscopy.“ *New Microbiol.*, 28(1), 1-12.

KRUGER, D. H., SCHNECK, P. & GELDERBLOM, H. R. (2000). Helmut Ruska and the visualisation of viruses. *Lancet.*, 355(9216), 1713-1717.

KSIAZEK, T. G., ERDMAN, D., GOLDSMITH, C. S., ZAKI, S. R., PERET, T., EMERY, S., et al. (2003a). A novel coronavirus associated with severe acute respiratory syndrome. *N.Engl.J.Med.*, 348(20), 1953-1966.

KSIAZEK, T. G., ERDMAN, D., GOLDSMITH, C. S., ZAKI, S. R., PERET, T., EMERY, S., et al. (2003b). A novel coronavirus associated with severe acute respiratory syndrome. *N.Engl.J.Med.*, 348(20), 1953-1966.

KURTH, R. (2004). [The emergence of old and new epidemics as a consequence of human actions]. *Bundesgesundheitsblatt.Gesundheitsforschung.Gesundheitsschutz.*, 47(7), 611-621.

LANE, H. C., MONTAGNE, J. L. & FAUCI, A. S. (2001). „Bioterrorism: a clear and present danger.“ *Nat.Med.*, 7(12), 1271-1273.

LEONG, A. S. & SORMUNEN, R. T. (1998). Microwave procedures for electron microscopy and resin-embedded sections. *Micron.*, 29(5), 397-409.

MARSHALL, H.-J. & GELDERBLOM, H. R. (2005). „Elektronenmikroskopie bei Bio-waffenverdacht. Wehrtechnik“, 37, 60-64.

PAULI, G. & ELLERBROK, H. (2003). „Diagnostik von Proben bei vermuteten bioter-roristischn Anschläge – Allgemeine Aspekte und grundsätzliche Erwägungen.“ Bundesgesundheitsblatt.Gesundheitsforschung.Gesundheitsschutz., 46, 976-983.

REED, K. D., MELSKI, J. W., GRAHAM, M. B. & Regnery, R. L. (2004). The detection of monkeypox in humans in the Western hemisphere New Engl. J.Med., 350, 342-350.

VON BORRIES, B., RUSKA, E. & RUSKA, H. (1938). „Bakterien und Virus in über-mikroskopischer Abbildung.“ Klin.Wschr., 17, 1713-1717.



## 5.5 Stellenwert der Real-Time-PCR in der BT-Erregerdiagnostik

*Andreas Nitsche*

### Zusammenfassung

Bei der Diagnostik infektiöser Erreger bietet die Real-Time-Polymerase-Kettenreaktion (PCR) seit Jahren die beste Kombination aus Spezifität, Sensitivität und Geschwindigkeit. Verschiedene Detektionsformate erlauben den Nachweis geringster Mengen eines Erregergenoms innerhalb von wenigen Stunden. Die Anzahl der verfügbaren Real-Time-PCR-Plattformen wächst stetig, wobei unterschiedliche Anforderungen, wie zum Beispiel der Hochdurchsatz oder die Genotypisierung, immer spezieller erfüllt werden können.

Diagnostische Parameter wie die Spezifität, die Sensitivität, aber vor allem die benötigte Zeit bis zu einer verlässlichen Diagnose stellen bei der Diagnostik Bioterror (BT)-relevanter Erreger wesentliche Kriterien dar. Am Beispiel der Pockendiagnostik werden verschiedene Ansätze der Real-Time-PCR sowie deren Möglichkeiten und Grenzen und zukünftige Ziele dargestellt.

### Erregernachweis

Der Nachweis infektiöser Erreger zählt heutzutage zum Routinerepertoire eines klinisch orientierten Diagnostiklabors. Dabei können Erregerpartikel, Erregerproteine oder Erregergenome entweder **direkt** nachgewiesen werden oder es wird die Bildung von erregerspezifischen Antikörpern im infizierten Organismus gezeigt, was man deshalb als **indirekten** Erregernachweis bezeichnet. Zu den direkten Nachweismethoden eines Erregers zählen die Elektronenmikroskopie (EM), der immunocytochemische Nachweis, die Zellkultur und die Polymerase-Kettenreaktion (PCR).

Die EM als *catch-all*-Methode zielt nicht auf den Nachweis eines bestimmten Erregers ab, sondern kann in kurzer Zeit alle Erreger darstellen, die in ausreichender Konzentration in der zu untersuchenden Probe vorhanden

sind (Gentile & Gelderblom, 2005; Hazelton & Gelderblom, 2003). Die Konzentration der mit Sicherheit zu detektierenden Partikel ist jedoch mit  $\sim 10^6$  /mL sehr hoch (Biel et al., 2004) und wird zwar bei der Untersuchung akut klinischer Proben oft erreicht, könnte aber gerade in BT-verdächtigen Umweltproben für eine Detektion zu niedrig sein. Ist eine EM-Diagnose jedoch positiv, kann man von einer hohen Erregerlast ausgehen und erhält gleichzeitig Aufschluss über die Morphologie der Partikel und damit deren taxonomische Zuordnung. Selbst bei intakter Morphologie ist deren Infektiosität dadurch streng genommen jedoch nicht bewiesen, aber sehr wahrscheinlich und speziell im akut klinischen Patienten ausreichend. Bei der Zellkultur werden die Erreger in einem geeigneten Zellsystem vermehrt und anhand eines typischen Wachstums oder eines charakteristischen zytopathischen Effektes diagnostiziert. Die Identifizierung des Erregers kann dann mit Hilfe spezifischer Antikörper im Immunfluoreszenztest erfolgen. Diese Methode ist sehr spezifisch, kann unter idealen Bedingungen hoch sensitiv sein und nur ein einziges infektiöses Partikel nachweisen, erfordert jedoch einen großen materiellen Aufwand, der einen Routinebetrieb oder den Hochdurchsatz schwierig gestaltet. Je nach Erreger beträgt die Zeit bis zu einem verlässlichen Ergebnis ein bis mehrere Tage.

Die PCR ist im Vergleich zur EM und der Zellkultur eine sehr schnelle und gleichzeitig sensitive Methode (Mackay, Arden & Nitsche, 2002). Je nach verwendetem Verfahren kann pro Reaktion ein Nachweis von  $<10$  Genomäquivalenten (GÄ) eines Erregers innerhalb von wenigen Stunden erfolgen. Im Gegensatz zur EM, die den Erreger selbst abbildet, und zur Zellkultur, die das Wachstum des Erregers und damit seine Infektiosität nachweist, kann die PCR lediglich Nukleinsäuren nachweisen, also die Gene oder Genome eines Erregers. In einer klinischen Probe mit entsprechender klinischer Diagnose ist der Nachweis der Nukleinsäure eines in Frage kommenden Erregers als Bestätigung zumeist ausreichend. In BT-verdächtigen Umweltproben ist eine Einschätzung der individuellen Situation, zum Beispiel der vorgefundenen Erregerkonzentration, notwendig, um den Nachweis der Nukleinsäure als relevant zu betrachten oder daraufhin einen eindeutigen Nachweis der Infektiosität mit Hilfe der Zellkultur durchzuführen.

Die unterschiedlichen Möglichkeiten der hier beschriebenen Methoden legen nahe, dass eine Kombination von verschiedenen Methoden immer sinnvoll ist und die Grundlage eines verlässlichen Ergebnisses darstellen sollte.

## Polymerase-Kettenreaktion

Während die EM und die Zellkultur bereits seit langer Zeit in der Erregerdiagnostik eingesetzt werden, ist die PCR daran gemessen als eine neue Methode zu betrachten. Erste Ideen einer DNA-Amplifikation *in vitro* wurden bereits Anfang der 1970er Jahre publiziert. Den Durchbruch schaffte jedoch Kary B. Mullis mit einer Publikation im Jahre 1985 (Saiki et al., 1985), wofür er im Jahr 1993 zusammen mit Michael Smith von der British Columbia University den Nobelpreis für Chemie verliehen bekam. Seit den ersten Publikationen zur PCR im Jahre 1985 steigt deren Anzahl jährlich exponentiell und hat im Jahr 2004 eine Gesamtzahl von etwa 250.000 erreicht. Darin spiegelt sich wieder, dass die PCR wie keine andere Methode die Welt der Biowissenschaften beeinflusst hat. Worin liegt nun das enorme Potenzial der PCR?

PCR kann mit Hilfe einer temperaturabhängigen, zyklischen Amplifikation in kurzer Zeit mit hoher Präzision große Mengen eines definierten DNA-Fragments herstellen, ähnlich einem DNA-Kopierer. Dieses DNA-Fragment wird dadurch in enorm großen Mengen verfügbar, die eine einfache Visualisierung und weitere Charakterisierung erlauben. In einem Amplifikationszyklus wird unter idealen Bedingungen die Menge des DNA-Fragmentes verdoppelt ( $2^n$ ), was nach 40 Zyklen der Amplifikation ungefähr  $1 \times 10^{12}$  PCR-Produkte ergibt. In diesem enormen Vervielfältigungspotenzial liegt andererseits auch die Gefahr, durch Kontamination mit bereits erzeugten PCR-Produkten in weiteren PCR-Reaktionen falsch positive Ergebnisse zu erzeugen (Kwok & Higuchi, 1989). Die in der Regel der konventionellen PCR folgende Gelelektrophorese bedeutet die Handhabung von extrem großen Mengen des PCR-Produkts, welches man mit derselben PCR wieder amplifizieren könnte. Um dies zu vermeiden, wird eine Reihe von biochemischen (Jinno, Yoshiura & Niikawa, 1990) oder enzymatischen Lösungen der so genannten *carry-over-protection* verwendet (Pang, Modlin & Yolken, 1992), aber auch die einfache räumliche Trennung der Labore für Vor- und Nach-PCR kann dieser Gefahr vorbeugen.

## Real-Time-PCR

Im Jahre 1996 erschienen die ersten Publikationen, in denen praktikable Formate der Real-Time-PCR beschrieben wurden (Heid, Stevens, Livak & Williams, 1996). Die Real-Time-PCR ist als eine Weiterentwicklung der konventionellen PCR anzusehen, im Vergleich zu der sie speziell für die Diagnostik eine Reihe von Vorteilen hat:

1. ein schnelles Ergebnis,
2. das Entfallen jeglicher Post-PCR-Bearbeitung der Proben und damit ein minimiertes Risiko der Kontamination und
3. die Möglichkeit der akkuraten Quantifizierung.

Jedes dieser Attribute stellt eine wesentliche Anforderung an die verlässliche Diagnostik infektiöser Erreger dar (Mackay, Arden & Nitsche, 2004), wodurch die Real-Time-PCR bei der Detektion BT-relevanter Erreger sehr schnell an Bedeutung gewonnen hat.

Das Prinzip der Real-Time-PCR beruht auf der gleichzeitigen Amplifikation und Detektion des in jedem Zyklus der PCR-Reaktion gebildeten PCR-Produktes. Dadurch kann zu jedem Zeitpunkt der PCR-Reaktion beobachtet werden, ob und in welchem Ausmaß es zu einer Amplifikation des gesuchten DNA-Fragmentes in der untersuchten Probe kommt.

Zurzeit ist eine Reihe von Formaten bekannt, die eine Real-Time-PCR-Detektion ermöglichen. Alle praktikablen Formate basieren dabei auf der Erzeugung oder Auslöschung eines Fluoreszenzsignals, das in jedem Zyklus der PCR-Reaktion zu der Menge des gebildeten PCR-Produktes proportional ist. Man unterscheidet dabei spezifische Detektionsformate von unspezifischen Detektionsformaten.

Das am weitesten verbreitete unspezifische Format der Real-Time-PCR-Detektion verwendet zusätzlich zu den in jeder PCR erforderlichen zwei Primern den Fluoreszenzfarbstoff SybrGreen (Abb. 59 A). SybrGreen bindet bevorzugt an doppelsträngige DNA (Schneeberger, Speiser, Kury & Zeillinger, 1995), wie PCR-Produkte, und emittiert dann nach Anregung mit einer geeigneten Strahlungsquelle Licht einer definierten Wellenlänge. In einem PCR-Gerät, das während der Amplifikation stetig Licht dieser Wellenlänge detektieren kann, ist somit die Akkumulation des PCR-Produktes *online*, also



direkt während der Messung, verfolgbar. Einige auf dem Markt befindliche Geräte erlauben diese Detektion tatsächlich direkt während der PCR-Reaktion und damit eine extrem schnelle unmittelbare Beurteilung der untersuchten Probe. Die Vorteile der Verwendung von SybrGreen sind die einfache Umwandlung einer konventionellen PCR-Reaktion in eine Real-Time-PCR und der niedrige Preis von SybrGreen. Ein schwerwiegender Nachteil ist jedoch, dass SybrGreen an jede Form von doppelsträngiger DNA bindet, also auch an ungewünschte PCR-Produkte oder Primer-Dimere (Abb. 59 A), die sehr häufig in PCR-Reaktionen gebildet werden, gerade wenn die Menge an Ziel-DNA sehr niedrig ist (Vandesompele, De Paepe & Speleman, 2002). Für die Erregerdiagnostik kann das bedeuten, dass eine Unterscheidung einer kleinen Menge des gesuchten Erregers erschwert wird. SybrGreen und andere so genannte unspezifische Detektionsformate sind dementsprechend für eine sensitive Diagnostik nicht die verlässlichste Lösung.

Dem gegenüber stehen die so genannten spezifischen Detektionsformate der Real-Time-PCR. Spezifisch bedeutet in diesem Zusammenhang, dass durch die Verwendung zusätzlicher Oligonukleotide (Sonden), die eine Sequenz aus dem PCR-Produkt darstellen, nur die gewünschten PCR-Produkte zu einer messbaren Signalbildung führen, jedoch nicht unbeabsichtigt erzeugte falsche PCR-Produkte oder Primer-Dimere. Die Sonde garantiert also die Detektion ausschließlich des gewünschten PCR-Produktes, was eine zusätzliche Ebene der Spezifität darstellt.

Der Aufbau und das Messprinzip der verwendeten Sonden sind mittlerweile sehr vielfältig. Das erste praktikable Format war die so genannte TaqMan-Sonde oder 5'-Nuklease-Sonde (Abb. 59 B). Bei dieser Sonde handelt es sich um ein Oligonukleotid, das an den gegenüber liegenden Enden mit zwei Fluoreszenzfarbstoffen markiert ist (Heid, Stevens, Livak & Williams, 1996). Der zumeist am 5'-Ende befindliche Reporterfarbstoff fluoresziert nach Anregung in einer definierten Wellenlänge. Diese Fluoreszenz wird jedoch auf den am 3'-Ende befindlichen Quencherfarbstoff übertragen, wodurch die Fluoreszenz des Reporterfarbstoffes nicht mehr detektierbar ist. Solange sich Reporterfarbstoff und Quencherfarbstoff in räumlicher Nähe befinden, also an dasselbe Sondenmolekül gebunden sind, kann keine Fluoreszenz des Reporterfarbstoffes detektiert werden. Wird nun aber während der PCR-Extensionsphase der Primer durch die Taq-DNA-Polymerase verlängert, der auf denselben DNA-Einzelstrang bindet wie die TaqMan-Sonde, so wird diese Sonde durch die

5'-3' Exonuklease-Aktivität der Taq-DNA-Polymerase hydrolysiert. Dadurch wird die räumliche Nähe zwischen Reporterfarbstoff und Quencherfarbstoff aufgehoben, und die Anregung des Reporterfarbstoffes kann nun im Gerät *online* detektiert werden (Abb. 59 B). Sind die Reaktionsbedingungen gut eingestellt, wird jedes PCR-Produktmolekül durch die Bindung und den Verdau einer TaqMan-Sonde in Form eines Fluoreszenzsignals gemessen. Vorteile dieses Formates der Real-Time-PCR sind ein diagnostischer Nachweis auch geringer Mengen eines Erregers mit hoher Spezifität und Reproduzierbarkeit, weshalb diese Sonden bei der Diagnostik BT-relevanter Erreger häufig verwendet werden (Mackay, 2007). Eine Reihe von Publikationen beschreibt den Nachweis von Orthopockenviren auf der Basis von TaqMan-Sonden (Ibrahim et al., 2003; Kulesh et al., 2004).

Darüber hinaus können TaqMan-Sonden nach Markierung mit verschiedenen Reporterfarbstoffen zur Multiplex-PCR-Detektion verwendet werden. Nachteile des TaqMan-Formates sind die zusätzlichen Kosten für die Synthese einer TaqMan-Sonde und die Voraussetzung einer geeigneten Sequenz von etwa 25-30 Basen Länge für die Lokalisation der TaqMan-Sonde im PCR-Produkt. Gerade bei wenig konservierten Sequenzen innerhalb einer Erregergruppe kann dies zu Problemen bei der Auswahl einer Sonde führen. Um dieses Problem zu umgehen, können TaqMan-Sonden durch Modifikation mit so genannten Minor Groove Binders modifiziert werden, die zu einer festeren Bindung der TaqMan-Sonden führen und damit eine deutlich verkürzte Sondenlänge von etwa 12-15 Basen zulassen (Kutyavin et al., 2000). Neben diesem TaqMan- oder 5'-Nuklease-Format existieren weitere Formate, die auf dem Prinzip der räumlichen Trennung zwischen zwei Fluoreszenzfarbstoffen beruhen, wie die *Molecular Beacons* (Tyagi, Bratu & Kramer, 1998), *Molecular Scorpions* (Thelwell, Millington, Solinas, Booth & Brown, 2000) und in abgewandelter Form die *Self-quenched Primers* (Nazarenko et al., 2002), bei denen nur ein Fluoreszenzfarbstoff verwendet wird.

Auf dem gegenteiligen Prinzip, der Schaffung räumlicher Nähe von zwei Fluorophoren, basiert das Prinzip der Hybridisierungs-Sonden (Abb. 59 C). Man setzt dabei zwei Oligonukleotide als Sonden ein, die nebeneinander auf einem der PCR-Produkt-Einzelstränge binden, wobei eine Lücke von ein bis fünf Basen zwischen den Sonden eingehalten wird (Wittwer et al., 1997). An die in 5' Richtung liegende Sonde ist an das 3' Ende ein Fluoreszenzfarbstoff gekoppelt, der so genannte Donor. Die in 3' Richtung liegende Sonde

trägt an ihrem 5' Ende einen Fluoreszenzfarbstoff, den Akzeptor (Abb. 59 C). Befinden sich die beiden Sonden frei in Lösung, führt die Anregung mit einer LED zur Fluoreszenz des Donor-Farbstoffes, dessen Signal jedoch nicht detektiert wird. Der Akzeptor kann von der LED nicht angeregt werden. Binden die beiden Sonden aber während der Annealing-Phase der PCR-Reaktion nebeneinander, kommen Donor und Akzeptor in räumliche Nähe und die Anregung des Donors führt zur Energieübertragung (Fluoreszenz Resonanz Energie Transfer, FRET) auf den Akzeptor, der dadurch angeregt werden kann und in einer vom Gerät detektierten Wellenlänge fluoresziert (Abb. 59 C). Im Gegensatz zum TaqMan-Format ist hier also die Schaffung der räumlichen Nähe erforderlich (Nitsche, Steuer, Schmidt, Landt & Siegert, 1999), was nur in der Annealing-Phase der PCR möglich ist. Das Signal bricht in der Extensionsphase zunächst wieder zusammen und wird in jedem Zyklus neu gebildet, ist also reversibel.

Diesen Umstand kann man bei der Schmelzkurvenanalyse nutzen, welche direkt im Anschluss an die PCR im selben Reaktionsgefäß durchgeführt werden kann. Dabei werden die PCR-Produkte bei 95 °C denaturiert und schnell abgekühlt, wobei es zur benachbarten Bindung der Hybridisierungs-Sonden kommt und ein Fluoreszenzsignal messbar wird (Abb. 60 A). Wird nun langsam wieder die Temperatur erhöht, beginnen die Sonden bei einer für sie charakteristischen Temperatur vom PCR-Produkt-Einzelstrang abzuschmelzen. Die Temperatur, bei der dieses geschieht, hängt von der Basenzusammensetzung und Basensequenz der Sonden ab. Beginnen die Sonden abzuschmelzen, kann man einen Zusammenbruch des Fluoreszenzsignals beobachten (Abb. 60 B, blaue Kurve). Eine mathematische Ableitung dieser Schmelzkurve ( $-dF/dT$ ) resultiert in einem charakteristischen Schmelzpunkt für diese Sonden, die perfekt komplementär zum PCR-Produkt sind (Abb. 60 D, blaue Kurve). Befindet sich im Bindungsbereich einer der Hybridisierungs-Sonden eine Fehlbasenpaarung, bindet die Sonde nicht mehr perfekt (Abb. 60 C).

In der Schmelzkurvenanalyse wird eine Sonde mit einer Fehlbasenpaarung dementsprechend bereits bei einer niedrigeren Temperatur abschmelzen (Abb. 60 B, rote Kurve), als wenn sie perfekt passen würde, was nach Ableitung in einem geringeren Schmelzpunkt resultiert (Abb. 60 D, rote Kurve). Mit Hilfe der Schmelzkurvenanalyse kann also eine Genotypisierung im Anschluss an die PCR erfolgen, was am Beispiel der Pockenvirus-Diagnostik zur Identifizierung von Variolavirus oder Vaccinia-Virus etabliert ist. Eine

Reihe von Real-Time-PCR-Assays ist bereits publiziert, die in verschiedenen Genen Variolavirus-spezifische Polymorphismen nutzen, um nach einer genrischen Amplifikation aller Orthopockenviren mit Hilfe einer Schmelzkurvenanalyse Variolavirus zu identifizieren (Nitsche, Ellerbrok & Pauli, 2004; Nitsche, Steger, Ellerbrok & Pauli, 2005; Olson et al., 2004). Ein verlässliches Ergebnis einschließlich einer Genotypisierung ist damit unmittelbar nach dem PCR-Lauf verfügbar. Allen Real-Time-PCR-Formaten ist gemein, dass sie so genannte *closed-tube*-Verfahren darstellen, d.h. mit dem Start der PCR-Reaktion bleibt das Reaktionsgefäß bis zum vollständigen Abschluss der Analyse verschlossen und muss nicht geöffnet werden, womit das oben beschriebene Risiko der Kontamination durch PCR-Produkte extrem minimiert wird.

Die Verwendung von quantifizierten Standards des zu untersuchenden Erregers erlaubt durch den Vergleich der Signale unbekannter Proben (CT-Wert) darüber hinaus eine exakte Quantifizierung dieser unbekannt Probe.

Wie die Anzahl gut funktionierender Real-Time-PCR-Formate, von denen hier nur die prominentesten beschrieben sind, ist auch die Anzahl der auf dem Markt befindlichen Real-Time-PCR-Geräte stetig gewachsen. Das erste Real-Time-PCR-Gerät, welches 96 Proben simultan analysieren konnte, war der ABI Prism 7700 SDS von Firma Applied Biosystems. Mittlerweile werden Real-Time-PCR-Geräte von verschiedenen Firmen wie Bio-Rad, Cepheid, Corbett Robotics, Stratagene, Idaho Technology, Bioneer und Techne angeboten, wobei diese Aufzählung keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt! Eine Besonderheit ist der LightCycler von Roche Applied Science, der für die Anwendung von Hybridisierungs-Sonden entwickelt wurde und mittlerweile in neueren Versionen zahlreiche Farbstoffe und Formate detektieren kann. Hier wird die PCR-Reaktion in bis zu 32 Glaskapillaren durchgeführt, welche eine extrem hohe Wärmeleitfähigkeit besitzen und durch hohe Heiz- und Kühlraten sehr kurze Reaktionszeiten ermöglichen. Jedes Real-Time-PCR-Gerät ist für individuelle Anwendungen mehr oder weniger gut geeignet. Der Anwender sollte vor der Anschaffung definieren, welche Anforderungen er an das Real-Time-PCR-Gerät stellt. Wesentliche Unterschiede zwischen verschiedenen Geräten bestehen bezüglich des Probendurchsatzes (32 bis 384 Proben), der Fluoreszenzanregungsquelle (Laser, Halogenlampe), des geeigneten Verbrauchsmaterials (Reaktionsgefäße, Platten, Kapillaren) und nicht zuletzt in der Größe (Portabilität) und der Bedienfreundlichkeit. Einen Vergleich dieser Geräte findet man unter [www.biocompare.com](http://www.biocompare.com).

## Etablierungsschritte

Etabliert man einen Real-Time-PCR-Assay für einen bestimmten Erreger, so ist eine stabile und spezifische PCR-Reaktion wesentliche Voraussetzung. Dies kann auch ein bereits bekannter konventioneller PCR-Assay sein. Primer, die in der konventionellen PCR zufrieden stellende Ergebnisse geliefert haben, werden in der Regel auch in der Real-Time-PCR mit einer kompatiblen Detektionssonde gute Ergebnisse erzielen. Wie für die Auswahl von PCR-Primern gibt es auch für die Auswahl von Detektionssonden Regeln (Mackay, 2007), die einen Erfolg zwar nie garantieren können, jedoch die Wahrscheinlichkeit erhöhen, einen verlässlichen PCR-Assay zu erhalten. Kritische Faktoren sind die Länge des PCR-Produktes, die eventuelle Komplementarität zwischen den Primern und den Detektionssonden und die Faltung des PCR-Produktes unter den Bedingungen der PCR. Verschiedene Hersteller bieten beim Kauf eines Real-Time-PCR-Gerätes Software an, die als Hilfestellung bei der Auswahl eines Assays verwendet werden kann. Die Qualität dieser Software kann dabei stark variieren.

Eine gut ausgewählte Real-Time-PCR sollte jedenfalls exponentielle Kurvenverläufe ergeben (Abb. 61, hellgraue Kurve). Ist der Kurvenverlauf eher linear als exponentiell (Abb. 61, schwarze Kurve), verläuft die PCR nicht symmetrisch und Optimierungen bezüglich der Primerkonzentration oder Primersequenzen sind notwendig.

Zur Ermittlung der Nachweisgrenze eines PCR-Assays werden entweder quantifizierte Mengen der DNA des Erregers oder quantifizierte Mengen eines Plasmides, die das PCR-Produkt enthalten, in Verdünnungen gemessen. Eine gute Real-Time-PCR kann dabei weniger als zehn Kopien der Erreger-DNA erkennen, wobei aus statistischen Erwägungen der Einsatz von genau zehn Kopien der Erreger-DNA in eine PCR-Reaktion natürlich nicht garantiert werden kann. Deshalb wird heutzutage die Nachweisgrenze und Reproduzierbarkeit eines PCR-Assays durch wiederholte Messungen verschiedener Erreger-DNA-Mengen, bis unter die theoretische Nachweisgrenze, an verschiedenen Tagen durchgeführt und die Ergebnisse mit Hilfe einer Probit-Analyse ausgewertet (Olson et al., 2004). Dadurch lässt sich bestimmen, welche Menge Erreger-DNA mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit, z. B. 95 Prozent, mit diesem Assay detektiert werden kann.

Als Sensitivität bezeichnet man im Zusammenhang mit der Real-Time-PCR die Veränderung des erzeugten Signals bei Veränderung der Menge an Erreger-DNA, die gemessen wird. Da bei der PCR-Reaktion ein Zyklus unter idealen Bedingungen eine Verdopplung der Produktmenge bedeutet und die Intra-Assay-Variabilität bei einem gut etablierten Real-Time-PCR-Assay weniger als einen Zyklus beträgt, ist in der Regel eine Verdopplung der Menge Erreger-DNA gut nachweisbar, zumeist aber auch viel weniger. Bemerkenswert ist, dass diese Genauigkeit über einen linearen Nachweisbereich von  $10^7$  Kopien bis hin zu zehn Kopien der Erreger-DNA möglich ist, ein Bereich, den sonst keine Methode der Nukleinsäure-Detektion bietet (Nitsche, Steuer, Schmidt, Landt & Siegert, 1999).

Soll ein Real-Time-PCR-Assay spezifisch für den gewünschten Erreger sein, müssen beim Design des Assays alle unerwünschten Erreger theoretisch durch geschickte Auswahl der Primer oder der Sonde ausgeschlossen werden. Die Spezifität eines Real-Time-PCR-Assays kann also auch auf der Ebene der Sondenbindung geschaffen werden, wobei die DNA des unerwünschten Erregers zwar von den Primern amplifiziert, jedoch nicht von der Sonde detektiert werden kann, weil die Sonde an dessen Sequenzen nicht bindet. Wenn möglich wird allerdings die spezifische Amplifikation angestrebt, um das Risiko falsch positiver Ergebnisse so gering wie möglich zu halten. Bei der Verwendung von Hybridisierungs-Sonden oder anderer Sondenformate, die eine anschließende Schmelzkurvenanalyse erlauben, kann die Spezifität für den gewünschten Erreger auf dieser Ebene erreicht werden. Dabei werden alle Erreger amplifiziert und detektiert, jedoch der betreffende Erreger-Genotyp mit Hilfe der oben beschriebenen Schmelzkurvenanalyse identifiziert, wie weiter oben bereits für die Diagnostik von Orthopockenviren und Variolavirus beschrieben wurde (Nitsche, Ellerbrok & Pauli, 2004; Nitsche, Steger, Ellerbrok & Pauli, 2005; Olson et al., 2004).

Unabhängig vom Format und trotz der Tatsache, dass sorgfältig ausgewählte Real-Time-PCR-Assays einen hohen Erfolg bei der Spezifität versprechen, muss letztlich diese Spezifität in der Praxis bewiesen werden. Dazu ist es erstrebenswert, so viele verschiedene Erreger wie möglich, die entweder in ein positives Ergebnis eingeschlossen oder aber auch davon ausgeschlossen werden sollen, in der Praxis zu testen. Dies stellt häufig die größte Herausforderung dar, da abhängig vom untersuchten Erreger geeignetes Probenmaterial sehr selten oder gar nicht frei verfügbar sein kann, wie das Beispiel der Variolaviren zeigt.

Die Fachliteratur beschreibt eine Vielzahl gut etablierter und evaluierter Assays zu vielen Erregern (Mackay et al., 2004; Mackay, Arden & Nitsche, 2002), aber auch kommerziell erhältliche Kits sind für viele Anwendungen hervorragend, wenn auch nicht immer ganz kostengünstig zu erhalten (eine Liste der im Robert Koch-Institut verwendeten Real-Time-PCR-Assays kann beim Autor erfragt werden).

### **Post-Real-Time-PCR-Analysen**

Obwohl der große Vorteil der Real-Time-PCR die Geschwindigkeit und das *closed-tube*-Format sind, sollte man die zahlreichen analytischen Methoden nicht außer Acht lassen, die zur zusätzlichen Bestätigung der Amplifikation des richtigen Erregers oder der weiteren Charakterisierung des PCR-Produktes eingesetzt werden können. Neben der bereits beschriebenen Schmelzkurvenanalyse, die die Richtigkeit einer Sequenz im Bereich der Sondenbindungsstellen beweisen und darüber hinaus zur Genotypisierung verwendet werden kann, lassen sich Real-Time-PCR-Produkte nach einer klassischen Aufreinigung des PCR-Produktes mit Standardmethoden sequenzieren. Dies schafft eine zusätzliche Bestätigung der in der Real-Time-PCR erhaltenen Ergebnisse und kann zur genaueren Typisierung des Erregers hilfreich sein. Auch neuere Methoden der Sequenzierung wie die Pyrosequenzierung können auf Real-Time-PCR-Produkte angewendet werden (Elahi & Ronaghi, 2004). Der große Vorteil dieser Methode liegt dabei darin, dass Ergebnisse der Sequenzierung online präsentiert werden und man im Modus der *Single Nucleotide Polymorphism* (SNP)-Analyse innerhalb von wenigen Minuten die Basenabfolge eines aussagekräftigen Polymorphismus bestimmen kann.

Andere Verfahren, die ihre Vorteile in einer Multiplex-Detektion haben, sind die massenspektroskopische Analyse der PCR-Produkte (Briese et al., 2005) oder deren Auswertung auf Chips (Los et al., 2005; Nebling, Grunwald, Albers, Schafer & Hintsche, 2004). Ziel ist dabei der Nachweis verschiedener Erreger in einem Schritt direkt im Anschluss an eine getrennt durchgeführte PCR-Reaktion oder im Idealfall im Anschluss an eine Multiplex-PCR, die alle relevanten Erreger mit zufrieden stellender Empfindlichkeit nebeneinander erfasst. Diese Methoden befinden sich zurzeit in der Entwicklung, werden aber in Zukunft die Diagnostik BT-relevanter Erreger sehr erleichtern können.

## Schlussfolgerung

Die PCR ist sicher nicht die „eierlegende Wollmilchsau“ der Diagnostik infektiöser Erreger, auch die Real-Time-PCR ist es nicht. Betrachtet man, was die PCR nachzuweisen nicht im Stande ist, nämlich intakte Partikel, deren Infektiosität oder erregerspezifische Proteine, mag man zuerst am Nutzen der PCR zweifeln. Aber speziell aus der Sicht der Diagnostik infektiöser Erreger ist gerade die Real-Time-PCR die Methode, die beim Kompromiss aus Nachweisgrenze und Zeit als die beste Methode erscheint.

Jede Situation erfordert eine individuelle Abschätzung der Aussagekraft einer diagnostischen Methode. Eine akut klinische Probe einer mit Pocken infizierten Person enthält erfahrungsgemäß ausreichend viele Pockenpartikel, um diese mit der EM innerhalb von 15 Minuten nachweisen zu können. Hier würde die PCR zur Bestätigung und Genotypisierung dienen, würde aber sicher mehr Zeit bis zu einem Ergebnis erfordern als die EM. Was aber, wenn die Viruslast niedrig, das Material schlecht konserviert oder die Anzahl der zu untersuchenden Proben sehr hoch ist? In jedem dieser Fälle wäre die Real-Time-PCR schneller und verlässlicher als der Nachweis des Erregers in der Zellkultur oder mittels EM.

Für routinemäßig anfallende Diagnostik scheint die Real-Time-PCR die Methode der Wahl zu sein. Je nach verwendeter Plattform kann die PCR-Reaktion einschließlich der Analyse innerhalb von 40 bis 120 Minuten erfolgen, wobei der Hochdurchsatz von bis zu 384 Proben pro PCR-Lauf möglich ist. Das Risiko der Kontamination ist trotz des enormen Vervielfältigungspotenzials der PCR bei der Real-Time-PCR nahezu ausgeschlossen, womit ein Ergebnis auf Anhieb als sehr verlässlich zu betrachten ist, wenn notwendige Kontrollen mitgeführt wurden. Im Gegensatz zur EM ist für die Erkennung des Erregers weniger Expertise notwendig – eine gut etablierte Real-Time-PCR ist unter standardisierten Bedingungen reproduzierbar und erzeugt leicht zu interpretierende Daten, die objektiv ausgewertet werden können. Wenn es für die Abschätzung des Gefahrenpotenzials einer Probe notwendig ist, kann die Real-Time-PCR ohne zusätzlichen Aufwand exakte, quantitative Ergebnisse liefern.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Real-Time-PCR mit all ihren Facetten, auch den zahlreichen Möglichkeiten der Post-Real-Time-PCR-Analyse, in der Erregerdiagnostik eine wesentliche Rolle spielt und in einer Kombination verschiedener Nachweismethoden nicht fehlen sollte.



*Danksagung:* Ich danke Andreas Kurth für konstruktive Kritik und das sorgfältige Korrekturlesen.

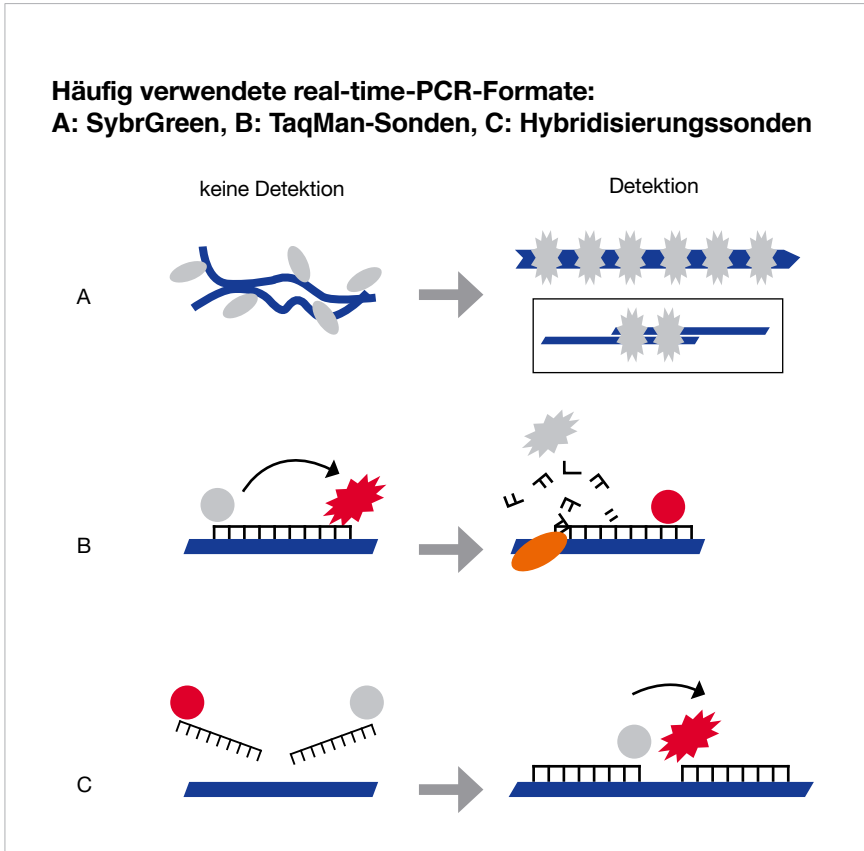


Abb. 59: Schematische Darstellung einiger Real-Time-PCR-Formate

Legenden zu den Abbildungen:

- A. SybrGreen (graue Ovale) bindet bevorzugt an doppelsträngige DNA (blaue Linien) und fluoresziert dann nach Anregung. Dabei wird jede Art doppelsträngiger DNA markiert, auch Primer-Dimere (Kasten). PCR-Produkte können dadurch schwer von Primer-Dimeren zu unterscheiden sein.
- B. TaqMan-Sonden enthalten einen Reporterfarbstoff (grau) und einen Quencherfarbstoff (rot). Wird während der PCR-Reaktion die TaqMan-Sonde durch die Taq-Polymerase (orange Ellipse) hydrolysiert, kommt es zur Aufhebung der räumlichen Nähe von Reporterfarbstoff und Quencherfarbstoff und die Fluoreszenz des Reporterfarbstoffes kann detektiert werden.
- C. Hybridisierungs-Sonden binden benachbart an einen Einzelstrang des PCR-Produktes, wodurch Donor (grau) und Akzeptor (rot) in räumliche Nähe gelangen. Nach Anregung überträgt der Donor seine Energie auf den Akzeptor, dessen Fluoreszenz gemessen wird. Die Signalproduktion ist unabhängig von der Taq-Polymerase.

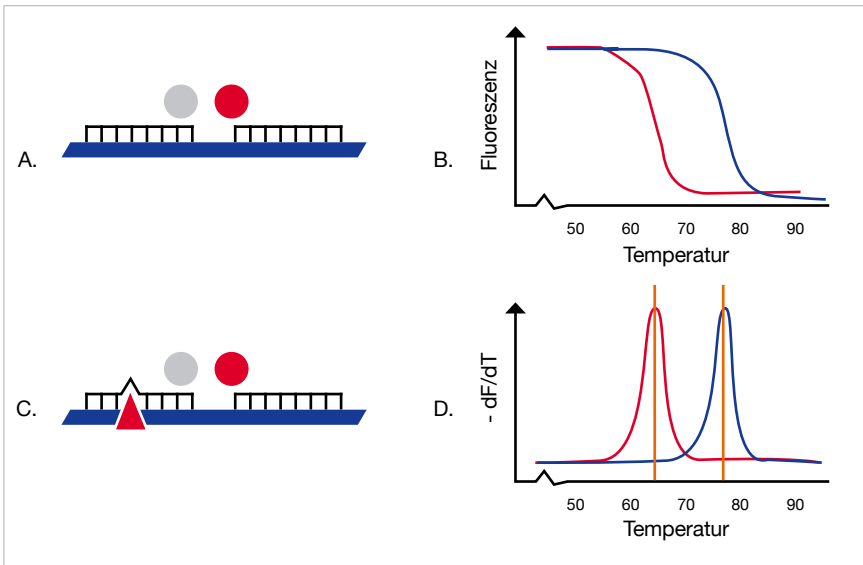


Abb. 60: Schmelzkurvenanalyse zur Genotypisierung mit Hybridisierungssonden

### Prinzip der Schmelzkurvenanalyse.

- A. Hybridisierungs-Sonden binden perfekt an einen Einzelstrang des PCR-Produktes.
- B. Schmelzkurvenprofile der perfekt bindenden Sonden aus A (blaue Kurve) und derselben Sonden auf einen DNA-Einzelstrang mit einer Fehlbasenpaarung aus C (rote Kurve).
- C. Hybridisierungs-Sonden binden nicht perfekt an einen Einzelstrang des PCR-Produktes. Die Sondenbindungsstelle hat eine Fehlbasenpaarung (rotes Dreieck).
- D. Ableitung der Fluoreszenz nach der Temperatur aus B. Für die perfekt passenden Sonden wird ein charakteristischer Schmelzpunkt erhalten (blaue Kurve), während das nicht perfekte Passen auf einem anderen DNA-Einzelstrang zu einer erniedrigten Schmelztemperatur führt (rote Kurve).

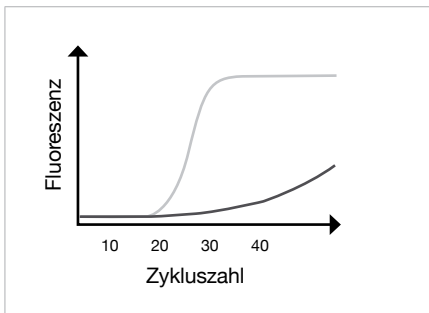


Abb. 61: Amplifikationskurven effizienter und ineffizienter PCR-Systeme

Amplifikationskurven einer Real-Time-PCR-Reaktion. Idealer Kurvenverlauf (hellgrau) und noch zu optimierender Kurvenverlauf (schwarz).

## Literaturhinweise

BIEL, S. S., NITSCHKE, A., KURTH, A., SIEGERT, W., OZEL, M. & GELDERBLOM, H. R. (2004). Detection of human polyomaviruses in urine from bone marrow transplant patients: comparison of electron microscopy with PCR. *Clin. Chem.* 50, 306–312.

BRIESE, T., PALACIOS, G., KOKORIS, M., JABADO, O., LIU, Z., RENWICK, N., et al. (2005). Diagnostic system for rapid and sensitive differential detection of pathogens. *Emerg. Infect. Dis.*, 11, 310–313.

ELAHI, E. & RONAGHI, M. (2004). Pyrosequencing: a tool for DNA sequencing analysis. *Methods Mol. Biol.*, 255, 211–219.

GENTILE, M. & GELDERBLOM, H. R. (2005). Rapid viral diagnosis: role of electron microscopy. *New Microbiol.*, 28, 1–12.

HAZELTON, P. R. & GELDERBLOM, H. R. (2003). Electron microscopy for rapid diagnosis of infectious agents in emergent situations. *Emerg. Infect. Dis.* 9, 294–303.

HEID, C. A., STEVENS, J., LIVAK, K. J. & WILLIAMS, P. M. (1996). Real time quantitative PCR. *Genome Res.*, 6, 986–994.

IBRAHIM, M. S., KULESH, D. A., SALEH, S. S., DAMON, I. K., ESPOSITO, J. J., SCHMALJOHN, A. L., et al. (2003). Real-time PCR assay to detect smallpox virus. *J. Clin. Microbiol.*, 41, 3835–3839.

JINNO, Y., YOSHIURA, K. & NIKAWA, N. (1990). Use of psoralen as extinguisher of contaminated DNA in PCR. *Nucleic Acids Res.*, 18, 6739.

KULESH, D. A., BAKER, R. O., LOVELESS, B. M., NORWOOD, D., ZWIERS, S. H., MUCKER, E., et al. (2004). Smallpox and pan-orthopox virus detection by real-time 3'-minor groove binder TaqMan assays on the Roche LightCycler and the Cepheid smart Cyclyer platforms. *J. Clin. Microbiol.* 42, 601–609.

KUTYAVIN, I. V., AFONINA, I. A., MILLS, A., GORN, V. V., LUKHTANOV, E. A., BELOUSOV, E. S., et al. (2000). 3'-minor groove binder-DNA probes increase sequence specificity at PCR extension temperatures. *Nucleic Acids Res.*, 28, 655–661.

KWOK, S. & HIGUCHI, R. (1989). Avoiding false positives with PCR. *Nature*, 339, 237–238.

LOS, M., LOS, J. M., BLOHM, L., SPILLNER, E., GRUNWALD, T., ALBERS, J., et al. (2005). Rapid detection of viruses using electrical biochips and anti-virion sera. *Letts. Appl. Microbiol.*, 40, 479–485.

MACKAY, I. M., ARDEN, K. E. & NITSCHKE, A. (2002). Real-time PCR in virology. *Nucleic Acids Res.*, 30, 1292 – 1305.

MACKAY, I. M., ARDEN, K. E. & NITSCHKE, A. (2004). Real-time Fluorescent PCR Techniques to Study Microbial-Host Interactions. In T. Savidge, C. Pothulakis (Eds.), *Microbial Imaging. Methods in Microbiology*, vol. 34. (pp. 253–328). Amsterdam: Academic Press.

MACKAY, I. M. (ed.). *Real-Time PCR in Microbiology: From Diagnosis to Characterization*. Chapter 9. Wymondham, UK: Caister Academic Press.

NAZARENKO, I., LOWE, B., DARFLER, M., IKONOMI, P., SCHUSTER, D. & RASHTCHIAN, A. (2002). Multiplex quantitative PCR using self-quenched primers labeled with a single fluorophore. *Nucleic Acids Res.*, 30, e37.

NEBLING, E., GRUNWALD, T., ALBERS, J., SCHAFFER, P. & HINTSCHE, R. (2004). Electrical detection of viral DNA using ultramicroelectrode arrays. *Anal. Chem.*, 76, 689 – 696.

NITSCHKE, A., ELLERBROK, H. & PAULI, G. (2004). Detection of orthopoxvirus DNA by real-time PCR and identification of variola virus DNA by melting analysis. *J. Clin. Microbiol.* 42, 1207 – 1213.

NITSCHKE, A., STEGER, B., ELLERBROK, H. & PAULI, G. (2005). Detection of vaccinia virus DNA on the LightCycler by fluorescence melting curve analysis. *J. Virol. Methods*, 126, 187–195.

NITSCHKE, A., STEUER, N., SCHMIDT, C. A., LANDT, O. & SIEGERT, W. (1999). Different real-time PCR formats compared for the quantitative detection of human cytomegalovirus DNA. *Clin. Chem.* 45, 1932–1937.

OLSON, V. A., LAUE, T., LAKER, M. T., BABKIN, I. V., DROSTEN, C., SHCHELKUNOV, S. N., et al. (2004). Real-Time PCR System for Detection of Orthopoxviruses and Simultaneous Identification of Smallpox Virus. *J. Clin. Microbiol.* 42, 1940–1946.

PANG, J., MODLIN, J. & YOLKEN, R. (1992). Use of modified nucleotides and uracil-DNA glycosylase (UNG) for the control of contamination in the PCR-based amplification of RNA. *Mol. Cell Probes*, 6, 251–256.

SAIKI, R. K., SCHARF, S., FALOONA, F., MULLIS, K. B., HORN, G. T., ERLICH, H. A., et al. (1985). Enzymatic amplification of beta-globin genomic sequences and restriction site analysis for diagnosis of sickle cell anemia. *Science*, 230, 1350–1354.

SCHNEEBERGER, C., SPEISER, P., KURY, F. & ZEILLINGER, R. (1995). Quantitative detection of reverse transcriptase-PCR products by means of a novel and sensitive DNA stain. *PCR Methods Appl.*, 4, 234–238.

THELWELL, N., MILLINGTON, S., SOLINAS, A., BOOTH, J. & BROWN, T. (2000). Mode of action and application of Scorpion primers to mutation detection. *Nucleic Acids Res.*, 28, 3752–3761.

TYAGI, S., BRATU, D. P. & KRAMER, F. R. (1998). Multicolor molecular beacons for allele discrimination. *Nat. Biotechnol.*, 16, 49–53.

VANDESOMPELE, J., DE PAEPE, A. & SPELEMAN, F. (2002). Elimination of primer-dimer artifacts and genomic coamplification using a two-step SYBR green I real-time RT-PCR. *Anal. Biochem.*, 303, 95–98.

WITTWER, C. T., RIRIE, K. M., ANDREW, R. V., DAVID, D. A., GUNDRY, R. A. & BALIS, U. J. (1997). The LightCycler: a microvolume multisample fluorimeter with rapid temperature control. *Biotechniques*, 22, 176–181.

## 5.6 Erfahrungen bei der Evaluierung von ABICAP® – Hand-Held-Testkits zum Nachweis von *Francisella tularensis* und Ebolavirus

Roland Grunow · Andreas Lucht · Mustafa Porsch-Özcürümez

### Zusammenfassung

In unseren Untersuchungen haben wir das säulenchromatographische Verfahren ABICAP® (Antibody Immuno Column for Analytical Processes) der Firma Senova, Jena, hinsichtlich seiner Eignung als Ultraschnelltest für den Nachweis von *Francisella tularensis* und Ebolavirus geprüft. In beiden Assays konnte eine vergleichbare Spezifität und Sensitivität wie mit den Referenzmethoden auf Grundlage der entsprechenden Capture-ELISA (Enzyme-linked immunosorbent assay) erzielt werden. Der Einfluss von Störgrößen in Probenmatrizen beim Nachweis der Antigene war unterschiedlich hoch, führte jedoch in den meisten Fällen kaum zu einer Veränderung des Ergebnisses. Insgesamt wurde geschlussfolgert, dass sich der ABICAP® für die untersuchten Antigene als präsumtiver Schnelltest eignet und weitere Validierungsarbeiten in der Praxis durchgeführt werden sollten.

Für die Detektion und die Identifizierung von Krankheitserregern mit bioterroristischem Hintergrund sind in den letzten Jahren verstärkt Labortechniken entwickelt bzw. adaptiert worden. Dazu gehören neben der Anzucht des Erregers mikroskopische und elektronenmikroskopische, immunologische und molekularbiologische Verfahren. Aufgrund der benötigten Zeitdauer kann man die Tests in ultraschnelle (Minuten bis zu einer halben Stunde), schnelle (ein bis ca. sechs Stunden) und langsame, zeitaufwändige Tests (ein bis acht Tage) einteilen. Eine möglichst frühe Erkennung von biologischen Agenzien ist für den Bevölkerungsschutz dringend notwendig, um rechtzeitig eine gezielte Behandlung der betroffenen Personen einleiten zu können. Darüber hinaus müssen im Fall einer Epidemie möglichst rasch Infektionsquellen und Infektionsketten erkannt werden, um eine weitere Ausbreitung des Erregers zu unterbinden. Gerade bei den Ultraschnelltests besteht häufig ein reziprokes Verhältnis zwischen Geschwindigkeit und Sensitivität der Methodik. Deshalb sind Schnelligkeit, Sensitivität, Spezifität, Reproduzierbarkeit und Handhabbarkeit Qualitätsmerkmale, hinsichtlich derer auch Ultraschnelltests optimiert

werden müssen. In unseren Untersuchungen haben wir das säulenchromatographische Verfahren ABICAP<sup>®</sup> (Antibody Immuno Column for Analytical Processes) der Firma Senova, Jena, hinsichtlich seiner Eignung als Ultraschnelltest für den Nachweis von *Francisella tularensis* und Ebolavirus geprüft.

Das Verfahren beruht auf einer 3D-Immunofiltration, wobei der Analyt im Durchfluss an eine Trägermatrix, die mit spezifischen Antikörpern beladen ist und sich in einer Minisäule befindet, gebunden wird (Abb. 62). Die Säulen haben eine Größe von ca. 5 cm x 0,5 cm. Das Standardprobenvolumen beträgt 750 µl, kann aber zwischen 50 µl und mehreren Millilitern bei Verwendung eines Trichteraufsatzes variiert werden. Das poröse Trägermaterial in der Säule hat eine Oberfläche von bis zu 10 cm<sup>2</sup>, wodurch die relativ große Menge von ca. 1 µg Fängerantikörper in der Säule gebunden werden kann. Die Affinität und Quantität der gebundenen Fängerantikörper sind wesentliche Parameter, die zur Sensitivität des Tests beitragen. Die Säulen mit den Fängerantikörpern werden in getrocknetem Zustand vorrätig gehalten und haben, wie die restlichen Ready-to-use-Reagenzien, eine Mindesthaltbarkeit von zwölf Monaten. Nachdem die Probe die Säule passiert hat, wird ein Detektorantikörper-Poly-Horseradish-Peroxidase (HRP)-Konjugat durch die Säule gegeben und anschließend die Bindung der konjugierten Antikörper über die Substratreaktion mit präzipitierendem Tetramethylbenzidin (TMB) nachgewiesen. Mittels eines batteriebetriebenen Photometers kann die optische Dichte der Säule nach der Substratreaktion gemessen werden, wobei ein dynamischer Messbereich von drei bis vier Logstufen möglich ist. Die generellen Vorteile dieses Systems sind in Abbildung 63 hervorgehoben. Das System besticht im Vergleich mit anderen Ultraschnelltests durch eine hohe Sensitivität bei relativ niedriger Assayzeit und die Möglichkeit, aus größeren Probenvolumina eine Anreicherung des Zielantigens zu erreichen. Die Ergebnisse werden mit Hilfe des Photometers in Taschenformat objektiviert und können entsprechend archiviert und ausgewertet werden.

Ausgangspunkt der Entwicklung eines ABICAP<sup>®</sup>-Hand-Held-Testkits ist in der Regel ein qualitätsgeprüfter ELISA. In unseren Untersuchungen haben wir entsprechende ELISA zum Nachweis von *Francisella tularensis* (Grunow et al., 2000) und Ebolavirus (Lucht et al., 2007) an den Test adaptiert.

*F. tularensis* ist der Erreger der Tularämie, einer meldepflichtigen Zoonose, die in Deutschland selten vorkommt. Derzeit gehören dem Genus *Francisella*



die zwei Spezies *tularensis* und *philomiragia* an, wobei letztere von untergeordneter klinischer Bedeutung ist. Innerhalb von *F. tularensis* werden vier Subspezies unterschieden. Davon rufen insbesondere die Subspezies *tularensis* (Jellison Typ A), die vorwiegend in Nordamerika vorkommt, und die Subspezies *holarctica* (Jellison Typ B), die auf der gesamten nördlichen Hemisphäre verbreitet ist, Krankheiten beim Menschen hervor. In Abhängigkeit von der Eintrittspforte kann sich die Erkrankung als ulzeroglandulär, glandulär, okulär, oropharyngeal, pulmonal oder typhös manifestieren. Bereits ca. zehn Erreger können einen Menschen infizieren, wobei die Erkrankung in Abhängigkeit von Erregersubspezies (*F. tularensis* ssp. *holarctica*, *F. tularensis* ssp. *tularensis*) mit unterschiedlichen Schweregraden verlaufen kann.

Für die Entwicklung der Nachweissysteme für *F. tularensis* wurde ein anti-LPS-monoklonaler Antikörper, der sowohl als Fänger- als auch als Detektorantikörper eingesetzt wurde, verwendet (Greiser-Wilke et al., 1989). Die Konzentrationen des Antikörpers wurden in vorhergehenden Validierungsexperimenten optimiert und festgelegt. In Abbildung 64 sind vergleichend die erzielten Standardkurven im Ft-ABICAP<sup>®</sup> und Capture-ELISA dargestellt. Anhand der jeweils zehn Eichkurven zeigte sich eine hohe Reproduzierbarkeit beider Tests und eine vergleichbar hohe Sensitivität ca.  $10^3$  Bakterien/ml. Mit der Erhöhung des Probenvolumens bei gleich bleibender Antigenmenge kann die Nachweisgrenze weiter gesenkt werden. Dabei konnten wir noch Bakterien in einer Konzentration von  $3 \times 10^2$  Bakterien/ml im Ft-ABICAP<sup>®</sup> detektieren (Abb. 65). Im Zusammenhang mit einem Tularämieausbruch im Kosovo haben wir Kotproben von verdächtigen Nagern gesammelt, die als Überträger der Tularämie gedient haben könnten (Reintjes et al., 2002). Diese Proben haben wir mit Kotproben vergleichbarer Nager aus deutscher Stallhaltung untersucht (Abb. 66). Dabei zeigte sich, dass die als Negativkontrolle eingesetzten Mauskotproben aus Deutschland im Vergleich mit denen vom Kaninchen einen wesentlich höheren Background ergaben, was im ELISA nicht zu beobachten war. Die Gründe dafür sind bisher nicht geklärt und an einer entsprechenden Optimierung wird gearbeitet. Trotzdem konnte in einigen Maus- und Hasenproben aus dem Kosovo sowohl im Ft-ABICAP<sup>®</sup> als auch im Capture-ELISA eindeutig *Francisella*-Antigen nachgewiesen werden. In weitergehenden Versuchen konnten wir belegen, dass eine Kreuzreaktivität mit anderen relevanten bakteriellen Erregern unwahrscheinlich ist (Ergebnisse nicht dargestellt). Darüber hinaus haben wir Proben aus Wasserreservoirs, die in Endemiegebieten der Tularämie durch schwedische Kollegen (M. Forsman, FOI,

Umeå, Schweden) gesammelt wurden, untersucht. Bei sieben von 165 Proben konnte wiederum übereinstimmend im Ft-ABICAP<sup>®</sup> und im Capture-ELISA ein positives Resultat erzielt werden (Ergebnisse nicht dargestellt).

Ebolaviren gehören zu den Filoviren und es werden vier Spezies unterschieden, die jeweils nach den Orten ihres ersten Auftretens benannt wurden: *Zaire-Ebolavirus* (sechs Subtypen), *Sudan-Ebolavirus* (drei Subtypen), *Côte d'Ivoire-Ebolavirus* (ein Subtyp) und das *Reston-Ebolavirus* (vier Subtypen). Mit Ausnahme des *Reston-Ebolavirus* verursachen die anderen drei genannten Spezies beim Menschen ein hämorrhagisches Fieber, das mit einer Letalitätsrate von etwa 50 bis 90 Prozent einhergeht. Wie aus den Namen abzuleiten ist, kommen diese Viren vorwiegend in afrikanischen Regionen vor, wobei das eigentliche Reservoir nicht eindeutig bekannt ist. Neben dem bioterroristischen Aspekt besteht für die höher entwickelten Länder insbesondere die Gefahr der Einschleppung der Krankheit. In jedem Fall ist eine schnelle Diagnostik des Erregers von Bedeutung, um eine frühzeitige symptomatische Therapie einleiten und präventive Maßnahmen zur Verhinderung bzw. Eindämmung einer Epidemie ergreifen zu können.

Auch hier haben wir ausgehend von einem Capture-ELISA unter Verwendung von monoklonalen Antikörpern einen ABICAP<sup>®</sup>-Ultraschnelltest entwickelt (Lucht, 2004). Die monoklonalen Antikörper sind dabei vor allen Dingen mit Natriumdodecylsulfat (SDS)-inaktivierten Ebolaviren reaktiv, was nach entsprechender Behandlung der Untersuchungsprobe eine Ansteckungsgefahr für den Durchführenden des Tests drastisch vermindert. Neben dem Nachweis von Ebolaviren im Blut haben wir den Test vor allen Dingen auch für Urin als Untersuchungsprobe evaluiert, da für letzteres Probenmaterial bei der afrikanischen Bevölkerung eine wesentlich höhere Akzeptanz besteht. Für die Untersuchungen haben wir SDS-inaktivierte Ebolaviren (EBOV) eingesetzt, die uns freundlicherweise von PD Dr. S. Becker, Virologie, Universität Marburg, zur Verfügung gestellt wurden. Aus der Abbildung 67 geht hervor, dass mit dem EBOV-ABICAP<sup>®</sup> eine hohe Sensitivität erreicht wird und eine Inaktivierung von Serum oder Urin mit SDS kaum einen Einfluss auf das Testergebnis hat. Mit entsprechenden Negativproben, die nicht das Antigen enthielten, war keine Reaktion im Test festzustellen. Wie schon im Ft-ABICAP<sup>®</sup> konnte auch hier die Sensitivität des Tests mit höheren Probenvolumina gesteigert werden. Da allerdings häufig, gerade im Fall von Blutuntersuchungen, geringere Probenvolumina zur Verfügung stehen, haben wir auch Probenmengen zwischen 50

und 200 µl untersucht. Hierbei ergaben sich keine wesentlichen Unterschiede zu größeren Probenvolumina mit gleichem absoluten Antigengehalt (Ergebnisse nicht dargestellt).

Für die Evaluierung des Tests wurden einhundert Normalseren aus Deutschland (BRK, München) und siebzig Seren aus Afrika (freundlicherweise von Frau Emmerich, BNI, Hamburg zur Verfügung gestellt) herangezogen. Die Seren wurden nativ eingesetzt bzw. mit EBOV-Kontrollantigen in einer optimierten Konzentration versetzt und dann untersucht (Abb. 68, 69). Die Ergebnisse wurden als Verhältnis zwischen optischer Dichte (OD) der Untersuchungsprobe zur OD der Negativkontrolle ausgedrückt. Bei den deutschen Seren konnten wir eine Spezifität von 97 Prozent errechnen, wenn auch die im Graubereich liegenden Werte hinzugezogen wurden, bzw. von 99 Prozent, wenn die sicher positiven Werte zur Grundlage gelegt wurden. Die Sensitivität, d. h. die Wiederfindung des Spikematerials, lag bei 100 Prozent. Für die afrikanischen Seren ist anzumerken, dass sich diese in sehr unterschiedlichen Zustand bezüglich Gerinnung und Hämolyse befanden, was durchaus die Probleme einer Serumgewinnung unter ungünstigen äußeren Bedingungen widerspiegelt. Trotzdem entsprachen Spezifität und Sensitivität des Assays annähernd den Werten, die mit qualitativ hochwertigen Seren aus Deutschland erreicht wurde.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der ABICAP<sup>®</sup> anhand der zwei geprüften Modellantigene trotz seiner Schnelligkeit bezüglich der Spezifität und Sensitivität dem konventionellen ELISA nicht nachsteht. Er stellt somit eine ausbaufähige Plattform zum Schnelldachweis von Agenzien mit bioterroristischem Hintergrund dar. Bei der Testentwicklung ist es wichtig, die relevanten Probenmatrizen hinsichtlich der geforderten Leistungsparameter zu prüfen und gegebenenfalls zu optimieren. Das setzt die Verfügbarkeit entsprechender Referenzmaterialien voraus, was für seltene Krankheitserreger häufig nur in Speziallaboratorien gegeben ist. Trotz der Einfachheit in der Durchführung des ABICAP<sup>®</sup> ist die Interpretation der Ergebnisse durch eine Fachkraft notwendig, um die richtigen adäquaten Schlussfolgerungen ableiten zu können. Die Ergebnisse eines Ultraschnelltests sind als vorläufig anzusehen und müssen im Zusammenhang mit einer Bedrohungssituation, klinischen Manifestationen und weiteren Laboruntersuchungen gesehen und bestätigt werden.

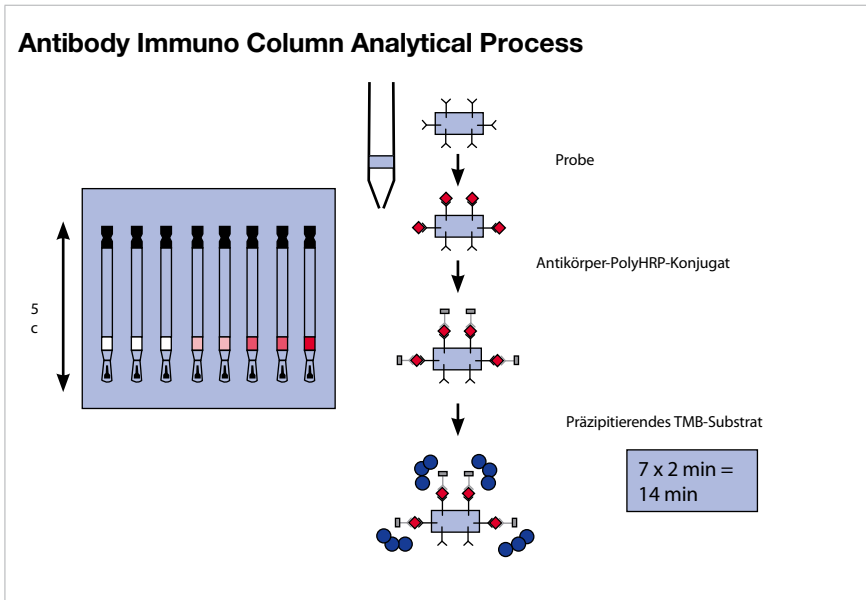


Abb. 62: ABICAP<sup>®</sup> (Antibody Immuno Column for Analytical Processes)

### ABICAP<sup>®</sup> -Technologie

(Antibody Immuno Column for Analytical Processes)

#### Vorteile

- Kurze Assayzeit von 20 – 30 min (10 – 15 min)
- Hohe Sensitivität
- Antigenanreicherung durch Immunfiltration
- Einfache Durchführbarkeit
- Batteriebetriebener Reader in Taschenformat
- Objektive Ergebnisse
- Evaluiert für inaktivierte Proben
- Möglichkeit für Automatisierung

Abb. 63: Vorteile der ABICAP<sup>®</sup>-Technologie

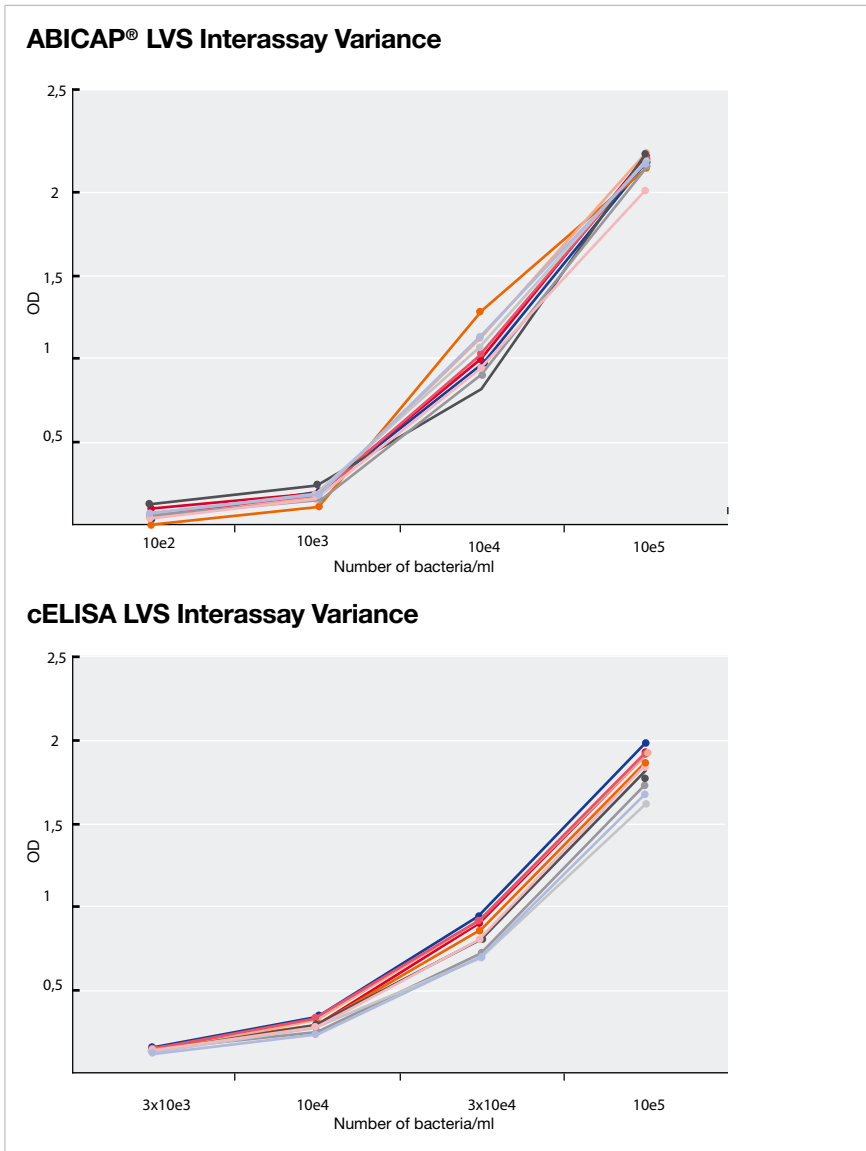


Abb. 64: *F. tularensis* ABICAP®-/ cELISA -Standardkurven

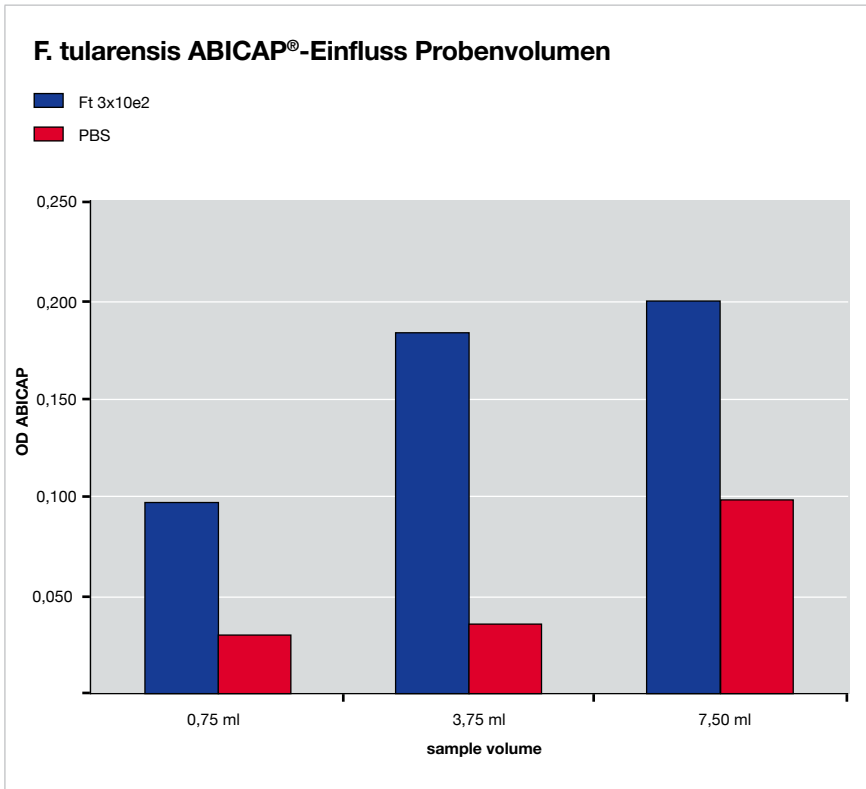


Abb. 65: *F. tularensis* ABICAP® – Einfluss des Probenvolumens

### Hasen- und Mauskot aus Deutschland und Kosovo

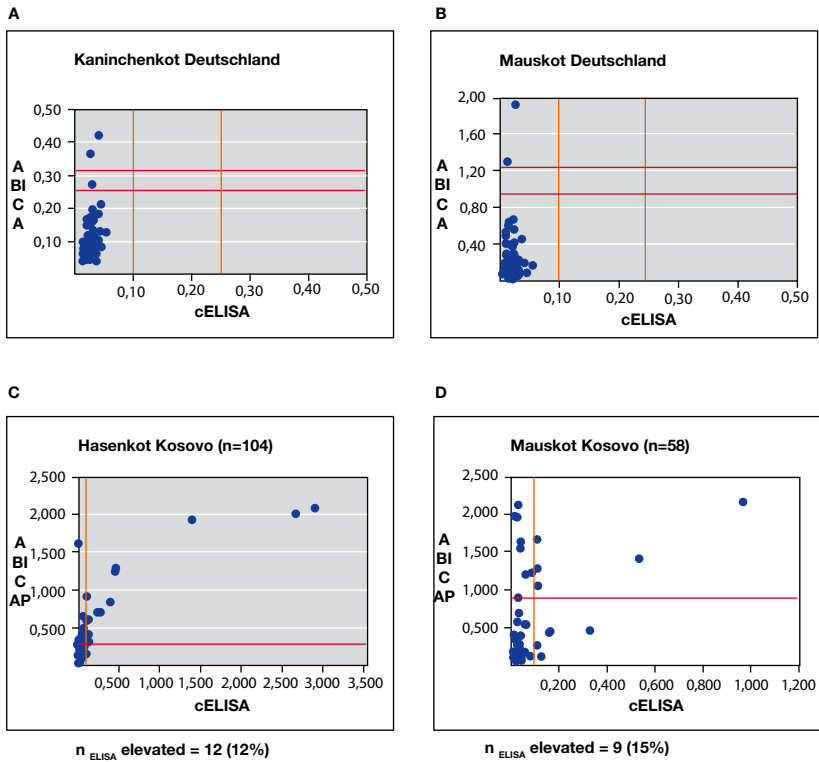


Abb. 66: *F. tularensis* ABICAP<sup>®</sup>-/- cELISA-Kotproben aus Deutschland (A; B) und einem Tularämie-Ausbruchs im Kosovo (C; D)

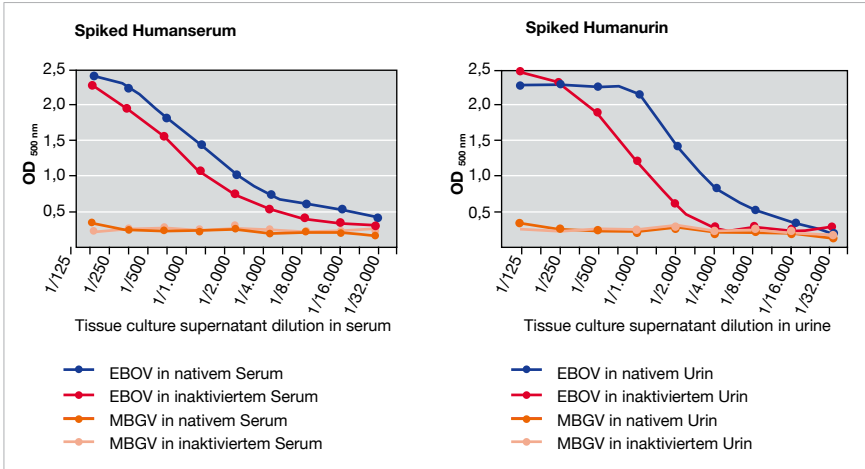


Abb. 67: Antigen-Verdünnungskurven des EBOV ABICAP®

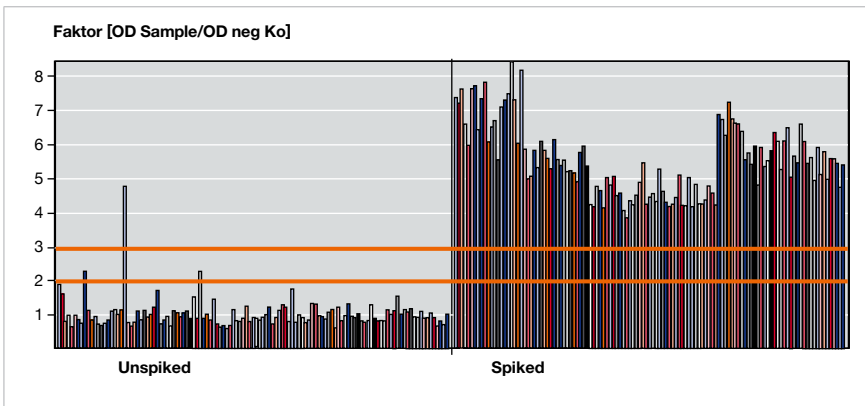


Abb. 68: Validierung des EBOV ABICAP® mit Serumproben aus Deutschland



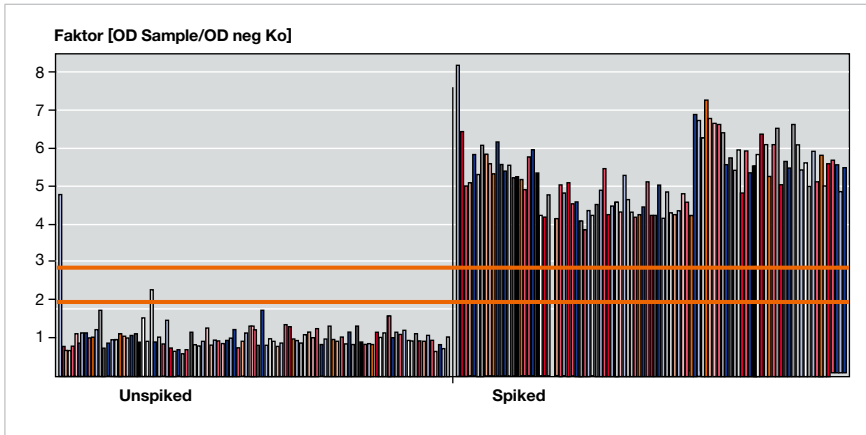


Abb. 69: Validierung des EBOV ABICAP<sup>®</sup> mit Serumproben aus Afrika

## Literaturhinweise

GRUNOW, R., SPLETTSTOESSER, W., McDONALD, S., OTTERBEIN, C., O'BRIEN, T., MORGAN, C., et al. (2000). Detection of *Francisella tularensis* in biological specimens using a capture enzyme-linked immunosorbent assay, an immunochromatographic handheld assay, and a PCR. *Clin.Diagn.Lab Immunol.*, 7(1), 86-90.

REINTJES, R., DEDUSHAJ, I., GJINI, A., JORGENSEN, T. R., COTTER, B., LIEFTUCHT, A., et al. (2002). Tularemia outbreak investigation in Kosovo: case control and environmental studies. *Emerg.Infect.Dis.*, 8(1), 69-73.

LUCHT, A. , FORMENTY, P. , FELDMANN, H. , GOTZ, M. , LEROY, E. , BATABOUKILA, P. , GROLLA, A., FELDMANN, F., WITTMANN, T., CAMBELL, P., ATSANGANDOKO, C., BOUMANDOKI, P., FINKE, E.J., MIETHE, P., BECKER, S., GRUNOW, R. (2007). Development of an immunofiltration-based antigen-detection assay for rapid diagnosis of Ebola virus infection. *J. Infect. Dis.* 196 Suppl. 2; 184 – 192

GREISER-WILKE, I., SOINÉ, C., MOENING, v. (1989), Monoclonal antibodies reacting specifically with *Francisella* sp. *Zentralbl. Veterinarmed B.* 36 (8): 593 – 600.

## 5.7 Immunologischer Schnelldachweis von B-Agenzien mit Mikropartikeln – BioVeris-System

*Bärbel Niederwöhrmeier*

### Zusammenfassung

Die wichtigste Voraussetzung für wirkungsvolle Gegenmaßnahmen beim Einsatz von biologischen Kampfstoffen ist ihr schneller, spezifischer, sensitiver und zuverlässiger Nachweis in Umwelt- und medizinischen Proben. Basis dafür bilden insbesondere molekulargenetische und immunologische Nachweismethoden, die für den Einsatz im stationären Labor geeignet sind, aber mit entsprechender Gerätetechnik auch feldtauglich gemacht werden können.

Im biologischen Zentrallabor des Wehrwissenschaftlichen Institutes für ABC-Schutztechnologien der Bundeswehr (WIS) werden Untersuchungen an bestehenden, selbst entwickelten und optimierten Nachweissystemen mit dem Ziel der Vereinfachung ohne Verlust an Schnelligkeit, Sensitivität und Spezifität durchgeführt. Eine zurzeit bei uns besonders intensiv verfolgte Methode basiert auf der Nutzung von Mikropartikeln als Festphase im Immunoassay. In diesem Zusammenhang wird auch die BioVeris-Technologie, die zum Nachweis von Proteinen, Toxinen und Mikroorganismen eingesetzt werden kann, aufgeführt.

Das Verfahren nutzt die Elektrochemilumineszenz-Methode, wobei paramagnetische mit Antigen-Antikörper-Komplexen beladene Mikropartikel auf einer Elektrode in der Durchfluss-Messzelle konzentriert werden und der Label (BV-TAG) unter elektrochemischer Anregung Licht emittiert.

Die Ereignisse der letzten Jahre zeigen, dass nicht nur die Bundeswehr, sondern auch der Bevölkerungsschutz auf Szenarien mit biologischen Kampfstoffen vorbereitet sein muss. Dafür müssen einfach zu handhabende Verfahren bzw. Technologien, die schnell, sensitiv und spezifisch zu einem Ergebnis führen, bereitgestellt werden. Die Vereinfachung bestehender und neu entwickelter Systeme ohne Verlust an Schnelligkeit, Sensitivität und Spezifität ist das Ziel der Untersuchungen beim WIS.

Eine Möglichkeit besteht in der Nutzung von Mikropartikeln als Festphase im Immunoassay (Alefantis et al., 2004, Biagini et al., 2004, Rijpens et al., 1999, Yu & Bruno, 1996b). Paramagnetische Mikropartikel eignen sich aufgrund ihrer großen Oberfläche aber neben der Funktion als Festphase im Assay auch zur Aufreinigung von Proben (Spanova, Rittich, Karpiskova, Cechova & Skapova, 2000, Uyttendaele, Van, I & Debevere, 2000) mit Hilfe von Magneten, was wiederum eine einfache und schnelle Handhabung ermöglicht. Unterschiedliche Größen (4,5  $\mu\text{m}$ , 2,8  $\mu\text{m}$  und 1  $\mu\text{m}$ ) und Oberflächen der Mikropartikel (Beads) werden in den Untersuchungen berücksichtigt. Als Reaktionsgefäße werden u. a. Mikrotiterplatten und Mikroröhrchen mit den entsprechenden Magnethaltern zur Trennung der Mikropartikel aus der Reaktionsflüssigkeit verwendet (Abb. 70 und 71).

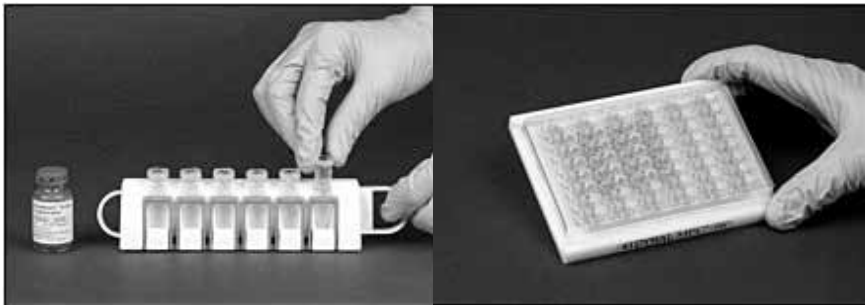


Abb. 70 und Abb. 71: Trennung der magnetischen Partikel aus der Reaktionsflüssigkeit

Die Technologie kann sowohl im Enzym-Immuno (EIA)- und Fluoreszenz-Immuno (FIA)- als auch im Elektrochemilumineszenz-Immuno-Assay (ECLIA) zum Einsatz kommen (Yu, 1996, Yu & Bruno, 1996a).

Die bisherigen Resultate bei Anwendung der magnetischen Mikropartikel (Beads) als Festphase im Immunoassay sind sehr vielversprechend. Verglichen mit dem konventionellen Mikrotiterplatten-ELISA (Enzyme-linked immunosorbent assay) stehen mit den Beads-basierenden Immunoassays schnellere, z. T. empfindlichere und präzise Nachweissysteme zur Verfügung. Besonders die Kombination der ECLIA- und FIA-Formate in den entsprechenden Durch-

fluss-Auswertegeräten zeigt eine erfolgreiche Annäherung für den Nachweis von B-Agenzien sowohl im Feld- als auch stationären Labor. Eigene Untersuchungen mit tosylaktivierten immunomagnetischen Beads (dynabeads M-280; Fa. Dynal) zeigen, dass z. B. der Nachweis von *Brucella melitensis* und *Yersinia pestis* im EIA und FIA z. T. in sehr kurzer Zeit mit vergleichbar guter Sensitivität möglich ist. So können bis zu  $10^4 - 10^5$  Zellen von *Brucella melitensis* pro ml innerhalb von maximal 25 min. (Zeit für Probenaufarbeitung zusätzlich) im FIA nachgewiesen werden. Die zuvor mit den spezifischen Antikörpern beschichteten Beads sind ohne Aktivitätsverlust mindestens zwei Jahre bei +4 °C lagerfähig. Die Verfahren werden insbesondere hinsichtlich Nachweiszeit und Sensitivität fortlaufend optimiert.

Ein weiteres Beispiel ist die **BioVeris-Technologie**, die zum Nachweis von Proteinen, Toxinen und Mikroorganismen eingesetzt werden kann. Die Basis bildet ein Sandwich-Immunoassay im Röhren- oder Mikrotiterplatten-Format (BioVeris Detection System) bzw. bei dem feldtauglichen BioVeris-M-Series-M1M-Analyzer im 96-deep-well-Platten-Format (Abb. 72). Als Festphase werden paramagnetische Mikropartikel eingesetzt. Die Auswertung des Assays findet in einer Durchfluss-Messzelle statt, in der die mit den Antigen-Antikörper-Komplexen beladenen Mikropartikel auf einer Elektrode konzentriert werden und der Label (BV-TAG) unter elektrochemischer Anregung Licht emittiert.

Die Technologie wurde in unserem Labor zunächst mit dem Laborgerät (Bio Veris Detection System) im Röhren-Format getestet. Dabei kamen sowohl ein konfektionierter BioVeris-Testkit als auch eigene in unserem Labor entwickelte, auf immunomagnetischen Mikropartikeln basierende Tests zum Einsatz. Der spezifische Nachweis ausgewählter B-Agenzien (z.B. *Yersinia pestis*) gelang nach sehr kurzer Reaktionszeit von 20 min. (Zeit für Probenaufarbeitung zusätzlich) ohne aufwendige Pipettier- und Waschschrte.



Abb. 72: BioVeris-M-Series-M1M-Analyzer

Weiterhin sind Untersuchungen zur Eignung des feldtauglichen BioVeris-M-Series-M1M-Analyzers mit den zurzeit verfügbaren, konfektionierten BioVeris-Testkits in lyophilisierter Form für Anthraxsporen, Staphylokokken-Enterotoxin B (SEB), SEA, Rizin, Botulinum-Neurotoxin A, B, E und F in Bearbeitung. Alle Reagenzien liegen in den verschlossenen Mikroröhrchen lyophilisiert vor. Diese sind wiederum in 96er Racks in wiederverschließbaren Beuteln so verpackt, dass sie über mindestens 12 bis 18 Monate bei 22 °C stabil bleiben (Abb. 73 und 74).



Abb. 73 und Abb. 74: Lyophilisierte Testkits für den BioVeris-M-Series-M1M-Analyzer

Die Probenanalysenkapazität beträgt 96 Analysen mit insgesamt 15 min. Inkubation (für 96 Röhrchen gleichzeitig) und 45 sec. pro Messung und Röhrchen (inkl. Spülschritte). Nach Zugabe der Probe und dem Einbringen des Röhrchenhalters (tube-holder) in das Gerät laufen die anschließende Inkubation und die Messungen automatisch ab. Die Testkits und die Auswerteeinheit sind einfach zu bedienen. Der Ablauf ist dem Nutzer anhand eines Handbuches verständlich und überschaubar dargestellt. Die Auswertung erfolgt neben der Anzeige auf dem Bildschirm über ein akustisches Signal.

Bisher wurde für *Bacillus anthracis*, SEA, SEB, Rizin, Botulinumtoxin A und B die Nachweissensitivität geprüft und die Probenaufarbeitung für verschiedene Umweltproben optimiert.

Ziel ist, mit der von der Firma BioVeris beschafften erweiterten Software für den feldtauglichen M1M-Analyzer das Erregerspektrum mittels der im Biologischen Zentrallabor des WIS entwickelten Antikörper und Testkits zu erweitern.

## Literaturhinweise

ALEFANTIS, T., GREWAL, P., ASHTON, J., KHAN, A. S., VALDES, J. J. & DEL, V., (2004). „A rapid and sensitive magnetic bead-based immunoassay for the detection of staphylococcal enterotoxin B for high-through put screening.“ *Mol.Cell Probes.*, 18(6), 379-382.

BIAGINI, R. E., SAMMONS, D. L., SMITH, J. P., PAGE, E. H., SNAWDER, J. E., STRILEY, C. A., et al. (2004). „Determination of serum IgG antibodies to Bacillus anthracis protective antigen in environmental sampling workers using a fluorescent covalent microsphere immunoassay.“ *Occup. Environ. Med.*, 61(8), 703-708.

RUIPENS, N., HERMAN, L., VEREECKEN, F., JANNES, G., DE, S. J. & DE, Z. L. (1999). Rapid detection of stressed Salmonella spp. in dairy and egg products using immunomagnetic separation and PCR. *Int.J.Food Microbiol.*, 46(1), 37-44.

SPANOVA, A., RITTICH, B., KARPISKOVA, R., CECHOVA, L. & SKAPOVA, D. (2000). PCR identification of Salmonella cells in food and stool samples after immunomagnetic separation. *Bioseparation.*, 9(6), 379-384.

UYTTENDAELE, M., VAN, H. I & DEBEVERE, J. (2000). The use of immuno-magnetic separation (IMS) as a tool in a sample preparation method for direct detection of L. monocytogenes in cheese. *Int.J.Food Microbiol.*, 54(3), 205-212.

YU, H. (1996). Enhancing immunoelectrochemiluminescence (IECL) for sensitive bacterial detection. *J.Immunol.Methods.*, 192(1-2), 63-71.

YU, H. & BRUNO, J. G. (1996a). Immunomagnetic-electrochemiluminescent detection of Escherichia coli O157 and Salmonella typhimurium in foods and environmental water samples. *Appl.Environ.Microbiol.*, 62(2), 587-592.

YU, H. & BRUNO, J. G. (1996b). Immunomagnetic-electrochemiluminescent detection of Escherichia coli O157 and Salmonella typhimurium in foods and environmental water samples. *Appl.Environ.Microbiol.*, 62(2), 587-592.



## 5.8 Lateral Flow Assays zum Nachweis von Botulinum-Neurotoxinen

Frank Gessler · Sibylle Pagel-Wieder · Helge Böhnel

### Zusammenfassung

*Clostridium botulinum*, ein anaerob wachsendes, Sporen bildendes Bakterium bildet unter geeigneten Bedingungen hoch potente Neurotoxine, die nach der Reihenfolge ihrer Entdeckung mit den Buchstaben A bis G belegt worden sind (BoNT/A-G). Die Toxine können bei Mensch und Tier eine schwere klinische Erkrankung hervorrufen, die durch die Symptome einer schlaffen Muskel-lähmung gekennzeichnet ist.

Die hohe biologische Potenz der Neurotoxine stellt eine besondere Herausforderung an die Entwicklung von Nachweisverfahren dar. Das gängigste Verfahren ist die Detektion im Tierversuch, der so genannte Mäuse-Bioassay. Als alternative Testverfahren wurden zahlreiche serologische Verfahren entwickelt. Ein serologisches Verfahren, der Lateral Flow Assay, kann einfach und schnell durchgeführt werden und ist damit insbesondere für die Vor-Ort-Detektion geeignet. Von mehreren Anbietern wurde dieser Nachweis von BoNT bereits kommerzialisiert. Die vier gängigsten Tests wurden in einer Evaluierungsstudie, die hier in Auszügen vorgestellt wird, eingehend geprüft: Unzureichende Sensitivität und Spezifität, hohe Variabilität und unspezifische Matrixeffekte schränken die Eignung der Tests ein. Unter Kenntnis der Aussagefähigkeit der Ergebnisse können sie allerdings ein wichtiges Hilfsmittel für die Vor-Ort-Detektion sein.

### *Clostridium botulinum* und Botulinum-Neurotoxine

*Clostridium botulinum* ist ein Sporen bildendes Bakterium, das natürlicherweise in Böden sowie Meer- und Süßwassersedimenten vorkommt. Das Vorkommen der Bakterien wurde in zahlreichen Ländern – auch europäischen – untersucht. Generell gilt, dass *Clostridium botulinum* ubiquitär verbreitet ist. Was nicht heißt, dass das Bakterium in allen Böden nachgewiesen werden kann. Die

Bakterien sind vielmehr weltweit verbreitet, aber das Vorkommen ist häufig lokal oder regional begrenzt. Dort, wo das Bakterium in der Umwelt vorhanden ist, steigt die Wahrscheinlichkeit einer Erkrankung bei Mensch und Tier. Ursächlich für eine Erkrankung sind Stoffwechselprodukte der Bakterien, die Botulinum-Neurotoxine (BoNT), die die Bakterien unter geeigneten Umgebungsbedingungen bei ausreichender Nährstoffversorgung und geringem Sauerstoffpartialdruck bilden. Bereits achtzig Jahre bevor das Bakterium selbst von Emile Pierre van Ermengem 1897 isoliert und beschrieben wurde, versuchte Justinus Kerner Anfang des 19. Jahrhunderts diese Toxine zu identifizieren. Aus verdorbenen Wurstwaren gewann er die Fettsäure, wie er sie nannte, mit der er in Tierversuchen die Erkrankung reproduzieren konnte. Über die Natur und Eigenschaften dieser Toxine wurde in der Zwischenzeit viel, aber noch längst nicht alles erarbeitet: Botulinum-Neurotoxine sind die bekanntesten biologischen Gifte. Bei oraler Aufnahme genügen beim Menschen bereits wenige Nanogramm ( $1 \text{ ng} = 10^{-9} \text{ g}$ ), um eine schwere klinische Erkrankung hervorzurufen, die untherapiert tödlich enden kann. Gebildet werden die Toxine, wie bereits erwähnt, von *Clostridium botulinum*, in selteneren Fällen von einzelnen Stämmen naher Verwandter des Bakteriums, *Clostridium baratii* und *Clostridium butyricum*. In der chronologischen Reihenfolge ihrer Entdeckung wurden die bisher bekannten Botulinum-Neurotoxine mit den Buchstaben A-G belegt.

Die Typen A, B, E und selten F gelten als pathogen für den Menschen, die Typen C und D können besonders bei Tieren Erkrankungen verursachen. Die Toxine unterscheiden sich in der Aminosäuresequenz, allen gemein ist aber, dass es sich um ca. 150 kD große Proteine, so genannte Zink-Metalloproteasen (Montecucco & Schiavo, 1993), handelt. In der natürlichen Umgebung kommen die Toxine aber nicht in dieser Form vor, sondern bilden mit weiteren Proteinen Komplexe unterschiedlicher Größe. Diese bestehen aus dem eigentlichen 150 kD großen Neurotoxin sowie sog. hämagglutinierenden und nicht-hämagglutinierenden Proteinen. Mit der Bezeichnung ist gleichzeitig eine wesentliche Eigenschaft dieser Begleitproteine beschrieben. Einige führen zu einer Verklumpung von Erythrozyten (hämagglutinierend). Abhängig von der jeweiligen Zusammensetzung werden beispielsweise bei Typ A 12S (300 kD), 16S (500 kD) und 19S (900 kD) Komplexe unterschieden (Sugii & Sakaguchii, 1977).

Die Bedeutung und Funktion der komplexbildenden Proteine ist noch nicht vollständig geklärt. Wahrscheinlich schützen sie das Toxin während der sauren

Magenpassage und spielen eine Rolle bei der Resorption der Neurotoxine im Darm. Nach der Aufnahme im Darm werden die Toxine über den Blutstrom im Körper verteilt und gelangen ins Nervengewebe, vor allem in die motorische Endplatte der Skelettmuskulatur, aber auch an andere sog. cholinerge Synapsen. Dort werden die Toxine in die Nervenzelle aufgenommen und verhindern, über typabhängig unterschiedliche Eingriffe in den Zellstoffwechsel, die Freisetzung des wichtigen Botenstoffes Acetylcholin in der Erregungsübertragung vom Zentralnervensystem auf die Zielorgane und -muskulatur. Die Erregungsleitung wird unterbrochen, und es kommt zu einer schlaffen Lähmung der Muskulatur, einschließlich der Atemmuskulatur, die, wie bereits erwähnt, untherapiert zum Tod durch Atem- und Kreislaufversagen führen kann.

## Botulismus

Die bekannteste Botulismus-Form, die lebensmittelbedingte Intoxikation (Vergiftung), wird durch die Aufnahme des bereits im Lebensmittel gebildeten Toxins hervorgerufen. In einigen Ländern ist sie aber schon längst nicht mehr die häufigste Erkrankungsform beim Menschen. In den USA beispielsweise werden den Behörden mehr Fälle von Säuglingsbotulismus gemeldet. Hier ist die Ätiologie eine andere. Nicht das Toxin, sondern die Bakterien werden aufgenommen, keimen im Darm aus und bilden dort das Toxin (Midura & Arnon, 1976). Als eine der möglichen Quellen für die Bakteriensporen wird Honig diskutiert. Seltener ist diese Erkrankungsform auch beim Erwachsenen zu beobachten. Dem Säuglingsbotulismus in der Ätiologie vergleichbar sind das Shaker-Foal-Syndrom bei Pferdefohlen (Rooney & Prickett, 1967) oder der viszerale Botulismus bei Rindern (Böhnel, Schwagerick & Gessler, 2001).

Seit Anfang der 90er Jahre des letzten Jahrhunderts wurden vermehrt Fälle von Wundbotulismus, zumeist bei Drogenabhängigen, beobachtet. *C. botulinum* besiedelt die Wunde. Das in der Wunde gebildete Toxin wird dann über den Blutkreislauf im Körper verteilt (Mechem & Walter, 1994). Als letzte Form sei noch der sog. „inadvertent“, der iatrogene Botulismus erwähnt, der quasi als systemische Nebenwirkung einer lokalen therapeutischen/kosmetischen Botulinumtoxin-Injektion auftreten kann.

### *Botulinum-Neurotoxine als Therapeutikum/Kosmetikum*

Im ausgehenden letzten Jahrhundert wurde erneut entdeckt, dass Botulinum-Neurotoxine auch therapeutisch eingesetzt werden können. Wieder entdeckt deshalb, weil der genannte Justinus Kerner bereits über den möglichen Einsatz der Toxine in der Therapie reflektierte. Mittlerweile ist die Liste der Erkrankungen, die mit den Toxinen behandelt werden können, recht lang geworden und reicht von muskulären Erkrankungen wie Schiefhalsyndrom über zu starke Schweißproduktion bis zu Migräne. Der größte Umsatz dürfte allerdings mit Toxininjektionen in der kosmetischen Anwendung zur Faltenglättung erzielt werden.

### **Botulinum-Neurotoxine als Biowaffe**

Botulinum-Neurotoxine sind das giftigste Gift. Nicht zuletzt deshalb werden sie auch als potenzielle Biowaffe diskutiert. Wein & Liu (2005) rechneten jüngst vor, dass mit 1 g Toxin, eingebracht in die Hofmilch, 100.000 Vergiftungsfälle durch den Verzehr kontaminierter Milch provoziert werden könnten.

Hinweise über den Einsatz als Biowaffe gibt es aus der Geschichte: Die mexikanischen Freiheitskämpfer um Pancho Villa kultivierten 1910 *C. botulinum*, um damit Lebensmittel zu vergiften. Mitglieder der Aum-Shinrikyō-Sekte sollen zwischen 1990 und 1995 mehrfach versucht haben, Botulinum-Neurotoxine in Tokio auszubringen. Laut militärischer Angaben wurde im Irak der 1990er Jahre waffenfähiges Botulinum-Neurotoxin hergestellt. Die Risikobewertung bleibt freilich den Experten vorbehalten, da Fragen der Toxinstabilität und Aerolisierung auf der anderen Seite die Eignung der Toxine als Biowaffe einschränken (MacIntyre, Seccull, Lane & Plant, 2007).

### **Nachweis von Botulinum-Neurotoxinen**

Nach wie vor gilt der Nachweis im Mäuse-Bioassay als Gold-Standard, wenn Botulinum-Neurotoxine im Labor detektiert und identifiziert werden müssen (AOAC, 1979). Dazu wird das Toxin aus dem Probenmaterial zunächst mit einem geeigneten Puffer extrahiert. Anschließend wird das Extrakt Mäusen injiziert und die Tiere über einen Zeitraum von 96 Stunden beobachtet. Im positiven Fall werden spezifische Symptome, wie z. B. die durch die Lähmung

der Atemmuskulatur hervorgerufene Wespentaille beobachtet und das Tier verendet innerhalb des Beobachtungszeitraums. Um diesen vorläufigen Verdacht zu bestätigen und gleichzeitig das Toxin zu typisieren, wird ein Neutralisationsversuch durchgeführt. Prinzipiell gibt es dafür zwei methodische Ansätze: Die jeweiligen Antitoxine können den Mäusen direkt injiziert werden und nach einer definierten Zeit wird das Probenmaterial appliziert. Die häufiger angewandte Methode ist allerdings, Aliquots der Probe im Reagenzglas mit den unterschiedlichen Antitoxinen zu versetzen und nach einer kurzen Inkubationszeit dem Tier zu injizieren. Das Toxin ist erfolgreich typisiert, wenn das Tier mit dem homologen Antitoxin überlebt. Alle anderen Tiere, einschließlich der Toxinkontrolle, verenden.

Geht man der Frage nach, warum diese Methode nicht schon längst durch alternative Verfahren ersetzt worden ist, ist eine der Antworten sicherlich in der hohen Potenz der Neurotoxine zu finden. In der Maus können bereits wenige Picogramm ( $1 \text{ pg} = 10^{-12} \text{ g}$ ) nachgewiesen werden. Diese Sensitivität ist in den konventionellen in-vitro-Verfahren nur schwer zu erzielen. Dennoch ist der Nachweis in der Maus nicht nur aus Sicht des Tierschutzes unbefriedigend. Er ist zeitaufwändig, kostspielig und nur bedingt zu standardisieren. Die schlechte Verfügbarkeit der dafür zwingend notwendigen Referenzantitoxine ist eine weitere Schwierigkeit.

Das Spektrum der entwickelten oder in der Entwicklung befindlichen alternativen Methoden ist groß. Beispielsweise wurde der Tierversuch modifiziert, um das Leiden der Tiere zu minimieren. Am isolierten Zwerchfell wird die biologische Aktivität von Toxinpräparationen und die neutralisierender Serumproben bestimmt (Wohlfarth, Goschel, Frevert, Dengler & Bigalke, 1997). Der Endopeptidase-Test misst die Substratspaltung durch eine Toxinuntereinheit, der leichten Kette (Ekong, Feavers & Sesardic, 1997).

Die meisten Entwicklungen basieren allerdings auf den sogenannten serologischen, Antigen-Antikörper-basierten Nachweisverfahren. Angefangen beim konventionellen Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) bis hin zu technisch anspruchsvolleren Methoden wie den Biochipverfahren. Alle Methoden versuchen über eine Aufkonzentration der Probe und/oder eine Signalverstärkung die Sensitivität des Bioassays zu erreichen. Als validiertes Verfahren steht ein von der CDC (Centers for Disease Control and Prevention, USA) und der FDA (Food and Drug Administration, USA) entwickelter ELISA für die Typen

A, B, E und F kommerziell zur Verfügung (Ferreira, Maslanka, Johnson & Good-nough, 2003). Magnetic-Beads-Verfahren (Gessler, Hampe, Schmidt & Böhnel, 2006) wurden ebenso entwickelt wie immunochromatographische Säulentests (Gessler, Hampe & Böhnel, 2005). Kommerzielle Biochip-Verfahren weisen die Antigen-Antikörper-Bindung und damit das Toxin unter anderem mittels Elektro-Chemolumineszenz nach. Allen genannten Methoden ist gemein, dass zumeist geschultes Personal und häufig eine anspruchsvolle Laborinfrastruktur benötigt wird, um diese Tests erfolgreich durchführen zu können.

### **Lateral Flow Assays (LFA)**

Anders ist die Lage bei den sog. Lateral Flow Assays, Dipstick-Tests oder immunochromatographischen Schnelltests. Diese membrangebundenen Nachweissysteme können von ungeübten Personen zumeist ohne zusätzliche Laborinfrastruktur und Geräte eingesetzt werden. Sie haben sich nicht nur als einfach durchzuführende Schwangerschaftsnachweise bewährt. Spezifische Nachweise wurden unter anderem auch für zahlreiche pathogene Mikroorganismen und Toxine entwickelt. Die verwendeten Testformate sind dabei fast so vielfältig wie die Zahl der nachzuweisenden Antigene. Einige grundlegende Eigenschaften sind aber den meisten Verfahren gemein (Abb. 75).

Im Allgemeinen wird ein Ligand, z.B. ein Antikörper, an eine poröse Nitrocellulose-Membran gebunden. Mit kolloidalem Gold, Latex-/Kohlepartikeln oder Fluoreszenzfarbstoffen markierte Antikörper dienen als Reporter-Molekül. Diese Reagenzien werden entweder mit dem Probenmaterial gemischt oder an das so genannte Konjugat-Pad gebunden. Das Pad kann zusätzlich Puffersalze, Blockierungsreagenzien und Stabilisatoren enthalten. Muss die Probe vorfiltriert werden oder möglichst homogen in das Konjugat-Pad gelangen, wird ein Proben-Pad über dem Konjugat-Pad aufgebracht. Wird die Probe aufgegeben, wandert die Flüssigkeit aufgrund von Kapillarkräften zum Absorbent-Pad. Auf dem Weg dorthin werden die Chemikalien des Konjugat-Pads gelöst und der Analyt bildet mit dem markierten Antikörper einen Komplex, der von dem Liganden auf der Testlinie spezifisch zurückgehalten wird. An der Kontrolllinie werden noch überschüssige Reportermoleküle gebunden, bevor die Flüssigkeit das Absorbent-Pad erreicht. Abhängig von der verwendeten Markierung des Reportermoleküls kann das Testergebnis visuell und/oder gerätetechnisch unterstützt ausgelesen werden.

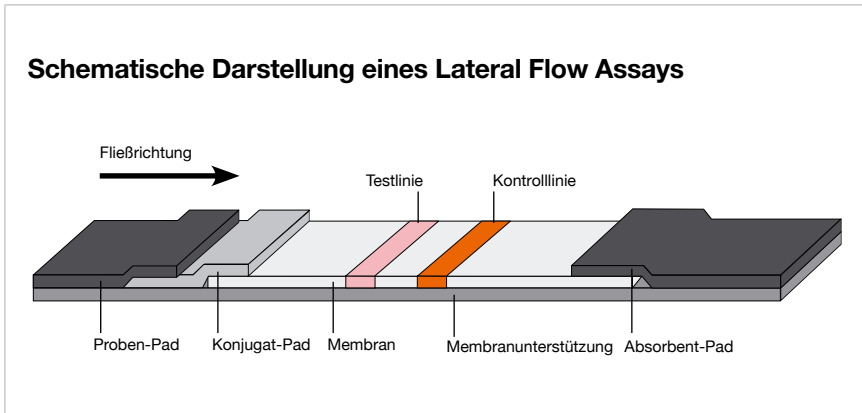


Abb. 75: Schematische Darstellung eines Lateral Flow Assays

### Nachweis von Botulinum-Neurotoxin mittels LFA

Die bereits angeführten Vorteile des LFA lassen dieses Verfahren als Methode der Wahl für die Vor-Ort-Detektion im Zusammenhang mit der absichtlichen Ausbringung von Biowaffen erscheinen. Nicht zuletzt deshalb finden sich einige kommerzielle Anbieter für den Botulinumtoxin-Nachweis im LFA (Tab. 29, Abb. 76).

Die Tests von Tetracore (BioThreat Alert<sup>TM</sup>), ADVNT Biotechnologies (BADD<sup>TM</sup>) und New Horizons Diagnostics (SMART<sup>TM</sup>-II) arbeiten mit goldmarkierten Antikörpern als Reportermolekülen und können direkt abgelesen werden. Im RAMP<sup>TM</sup>-Test wird ein Fluoreszenzmarker verwendet, der eine geräteunterstützte Auslesung unumgänglich macht.

Mit den Testkits werden neben den eigentlichen Teststreifen auch Puffer, ggf. Wattestäbchen und Einmalröhrchen mitgeliefert. Üblicherweise empfehlen die Hersteller pulverförmige Proben mit dem Wattestäbchen aufzunehmen und im Puffer zu lösen. Flüssige Proben werden ebenfalls im Puffer verdünnt, bevor sie in die Vertiefung des Testgehäuses einpipettiert werden. Der RAMP<sup>TM</sup>-Test muss direkt in das Auslesegerät eingelegt werden. Das Ergebnis wird automatisch ausgegeben. Die Teststreifen der anderen Hersteller werden nach der

vorgegebenen Zeit abgelesen. Je nach Hersteller beträgt die Testzeit zwischen 5 und 15 Minuten. Der BioThreat Alert<sup>TM</sup> kann zudem noch über das zusätzlich erhältliche Auslesesystem (Guardian Reader<sup>TM</sup>) ausgewertet werden.

	Tetracore	ADVNT Biotechnologies	New Horizons Diagnostics	Response Biomedical
Test- bezeichnung	BioThreat Alert <sup>TM</sup>	BAAD <sup>TM</sup>	SMART <sup>TM</sup> -II	RAMP <sup>TM</sup>
Spezifität (laut Hersteller)	BoNT/A+B	BoNT/A	BoNT/A	BoNT/A
Markierung des Nachweisanti- körpers	kolloidales Gold	kolloidales Gold	kolloidales Gold	Fluoreszenz
Testzeit (in min)	15	5–10	15	15–17
Ablesung der Ergebnisse	direkt und Auslesegerät	direkt	direkt	nur mit Auslesegerät möglich

Tab. 29: Übersicht der Lateral Flow Assays zum Nachweis von Botulinum-Neurotoxinen



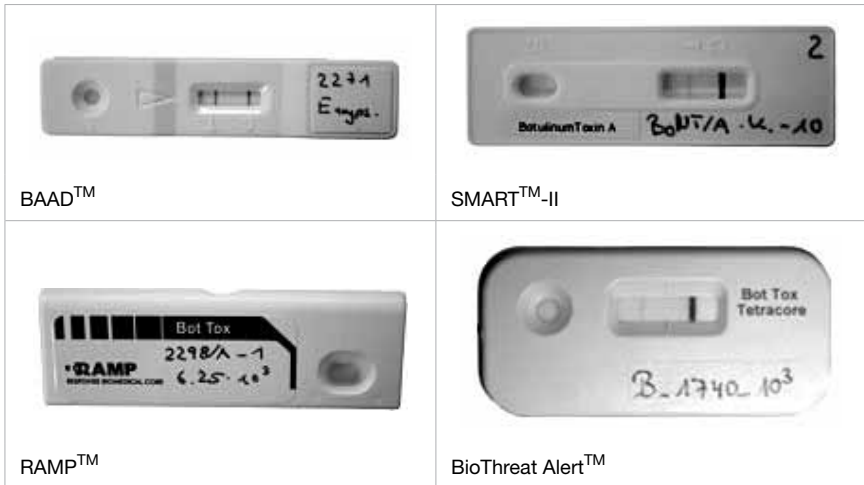


Abb. 76: Kommerzielle Lateral Flow Assays zum Nachweis von Botulinum-Neurotoxinen

### Evaluierung der Lateral Flow Assays zum Nachweis von Botulinum-Neurotoxin

Es wurde vergleichend untersucht, inwieweit die genannten Verfahren sich für den Nachweis von Botulinum-Neurotoxinen bewähren. Als Prüfsubstanz wurden sowohl hochreine Toxine, Toxinkomplexe, aber auch ungereinigte, toxische *C. botulinum*-Kulturüberstände eingesetzt. Die Ergebnisse für den Toxintyp A (BoNT/A) zeigt Abbildung 77.

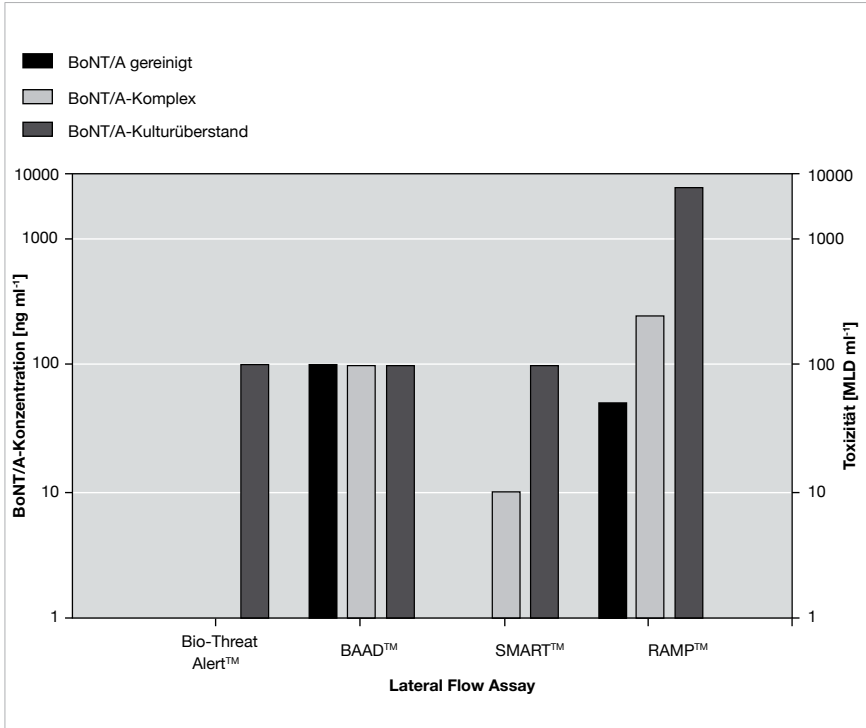


Abb. 77: Untere Nachweisgrenze der Lateral Flow Assays für gereinigtes BoNT/A, BoNT/A-Komplex und BoNT/A-Kulturüberstand

Mit zwei der LFA (BioThreat Alert™, SMART™-II) konnte das gereinigte Toxin auch in der höchsten getesteten Konzentration ( $1 \mu\text{g mL}^{-1}$ ) nicht nachgewiesen werden. Da aber in beiden Testsystemen der Toxinkomplex erfolgreich detektiert wurde, liegt der Schluss nahe, dass im Test Antikörper verwendet werden, die gegen die Komplex-Begleitproteine gerichtet sind. Ob diese beiden Verfahren für den Nachweis von BoNT als bioterroristisches Agens damit ungeeignet sind, bleibt wiederum der Risikoanalyse und -bewertung vorbehalten. Die Tests liefern nur dann ein falsch-negatives Ergebnis, wenn das gereinigte Toxin und nicht der Toxinkomplex oder gar unaufgereinigte Präparationen freigesetzt werden. Allerdings macht diese Eigenschaft den Test anfällig für Kreuz-

reaktionen, da die Komplexproteine Bindungsstellen für Antikörper haben, die auch bei anderen Proteinen vorkommen (Mancheño, 2005).

Der BoNT-Komplex wurde mit allen vier LFA nachgewiesen. Im Vergleich zum gereinigten Toxin zeigte der RAMP<sup>TM</sup>-Test beim Komplex eine deutlich schlechtere Sensitivität. Die Nachweisgrenze lag bei  $250 \text{ ng mL}^{-1}$ . Eine mögliche Erklärung für diese Beobachtung ist die Struktur des Toxinkomplexes. Der Komplex hat ungefähr die dreifache Masse des Toxins. Wenn die Nachweisantikörper im Test gegen Epitope des Toxins selbst gerichtet sind, steigt die Zahl der Bindungsstellen im Komplex trotz der größeren Masse nicht an. Zudem können Epitope im Toxinkomplex auch verborgen bleiben.

Mit der Untersuchung der *C. botulinum*-Kulturüberstände sollte zum einen festgestellt werden, ob das Toxin in komplexeren Proteingemischen nachgewiesen werden kann. Zum anderen sollte die Spezifität der Tests geprüft werden (Abb. 78). Alle vier Tests detektierten die homologen Kulturüberstände der Toxintypen, für die sie vermarktet werden. Die Kreuzreaktivität mit den anderen Toxinen variierte mit dem jeweiligen Verfahren und dem untersuchten Toxintyp. Prinzipiell wurden bei allen Tests Kreuzreaktionen beobachtet, außer beim RAMP<sup>TM</sup>, der spezifisch für BoNT/A war. Zudem reagierte der BADD<sup>TM</sup> positiv auf Bestandteile des Kulturmediums (RCM), weshalb der Test für die Untersuchung von Kulturmaterial ungeeignet ist. Die übrigen Verfahren sind prinzipiell dazu geeignet, BoNT in Kulturen zu detektieren, vorausgesetzt, sie werden für die jeweilige Anwendung zuvor geprüft. Mit dem SMART<sup>TM</sup>-II kann BoNT/A+B und mit BioThreat Alert<sup>TM</sup> BoNT/A+B+E detektiert werden. Da der RAMP<sup>TM</sup>-Test beim Kulturüberstand eine deutlich geringere Sensitivität zeigt, ist er nur für hochtoxische BoNT/A-Kulturen geeignet.

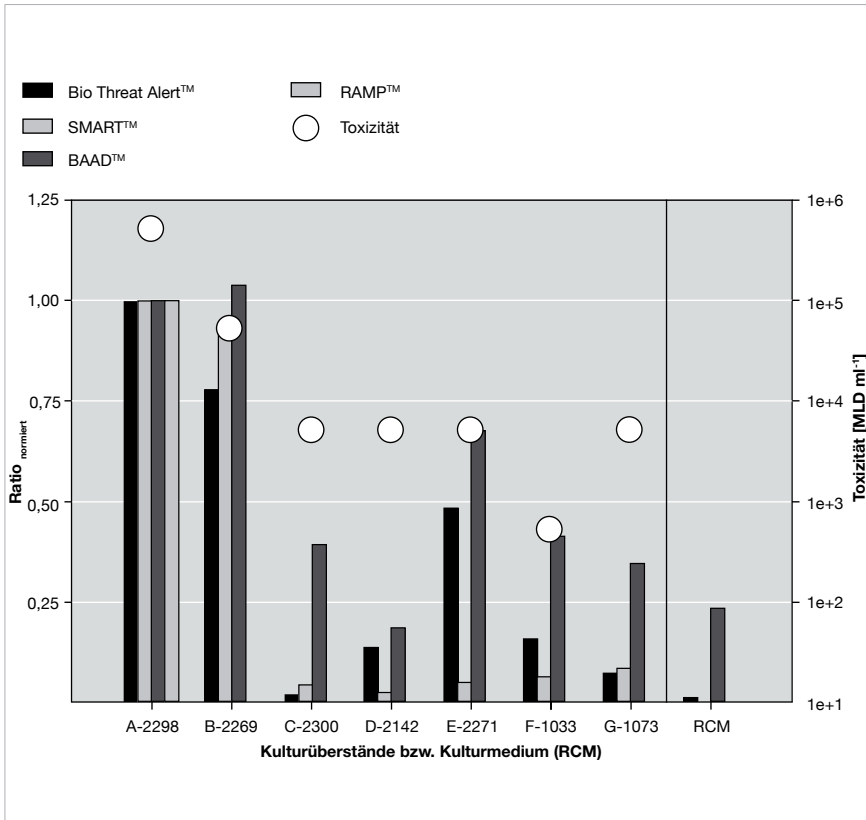


Abb. 78: Spezifität und Sensitivität der Lateral Flow Assays bei der Untersuchung von toxischen Kulturüberständen und Kulturmedium (RCM)

Es ist unwahrscheinlich, dass der Untersucher es in der Vor-Ort-Detektion mit gereinigten, wässrigen Toxinlösungen zu tun haben wird. Deshalb ist es für eine Testvalidierung unabdingbar zu prüfen, ob komplexe Probenmatrices die Nachweisreaktion beeinflussen. Abbildung 79 zeigt am Beispiel des BioThreat Alert™, dass nicht nur Kreuzreaktionen mit anderen Toxinen (Tetanustoxin), sondern abhängig von der verwendeten Matrix auch weitere falsch-positive Reaktionen beobachtet werden können.

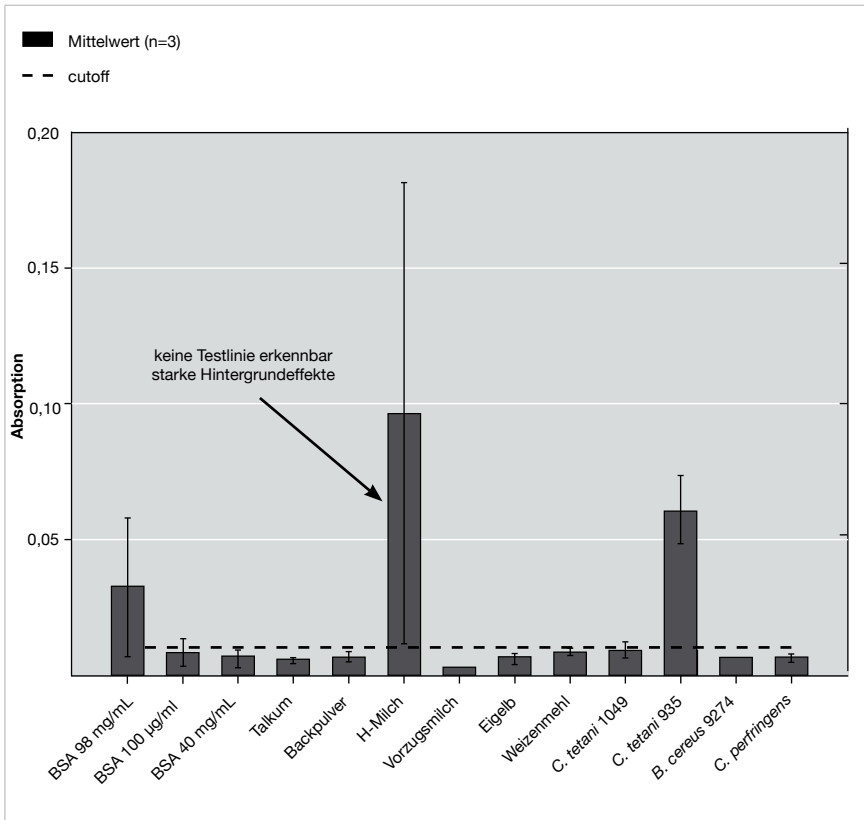


Abb. 79: Kreuzreaktives Verhalten und Effekte ausgesuchter Matrices mit dem BioThreat Alert™-Test (BSA = bovines Serumalbumin)

## Schlussfolgerung

Lateral Flow Assays sind einfach durchzuführen und liefern ohne aufwändige Geräteausstattung innerhalb weniger Minuten ein Ergebnis. Das sind Vorteile, die die Verfahren auch für den Nachweis von B-Agenzien attraktiv machen. Von den am Markt verfügbaren LFA wurden vier Systeme zum Nachweis von Botulinum-Neurotoxinen geprüft. Nachteile dieser Verfahren waren die geringe

Sensitivität und Spezifität. Aber auch die hohe Variabilität der Ergebnisse und die beobachteten Matrixeffekte schränken die Eignung dieser Systeme für die Vor-Ort-Detektion ein und erzwingen eine sorgfältige Validierung. Ist sich der Untersucher darüber im Klaren, wo die Möglichkeiten, aber auch Beschränkungen des jeweils verwendeten Tests liegen, kann der LFA ein wichtiges Hilfsmittel im Nachweis vor Ort sein.

## Literaturhinweise

AOAC Official Method 977.26 (1979). „*Clostridium botulinum* and its toxins in foods.“

BÖHNEL, H., SCHWAGERICK, B. & GESSLER, F. (2001). „Visceral botulism – a new form of bovine *Clostridium botulinum* toxication.“ *J. Vet. Med. A Physiol. Path. Clin. Med.*, 48(6), 373–383.

EKONG, T. A., FEAVERS, I. M. & SESARDIC, D. (1997). „Recombinant SNAP-25 is an effective substrate for *Clostridium botulinum* type A toxin endopeptidase activity in vitro.“ *Microbiology*, 143 (Pt 10), 3337–3347.

FERREIRA, J. L., MASLANKA, S., JOHNSON, E. & GOODNOUGH, M. (2003). „Detection of botulinic neurotoxins A, B, E, and F by amplified enzyme-linked immunosorbent assay: collaborative study.“ *J. AOAC Int.*, 86(2), 314–331.

GESSLER, F., HAMPE, K. & BÖHNEL, H. (2005). „Sensitive detection of botulinum neurotoxin types C and D with an immunoaffinity chromatographic column test.“ *Appl. Environ. Microbiol.*, 71(12), 7897–7903.

GESSLER, F., HAMPE, K., SCHMIDT, M. & BÖHNEL, H. (2006). „Immunomagnetic beads assay for the detection of botulinum neurotoxin types C and D.“ *Diagn. Microbiol. Infect. Dis.*, 56(3), 225–232.

MACHEÑO, J. M., TATENO, H., GOLDSTEIN, I. J., MARTINEZ-RIPOLL, M. & HERMOSO, J. A. (2005). „Structural analysis of the *Laetiporus sulphureus* hemolytic pore-forming lectin in complex with sugars.“ *J. Biol. Chem.* 280, 17251-17259.

MACINTYRE, C. R., SECCULL, A., LANE, J. M. & PLANT, A. (2007). „Development of a risk-priority score for category A bioterrorism agents as an aid for public health laboratory.“ *Mil. Med.*, 171, 589–594.

MECHEM, C. C. & WALTER, F. G. (1994). „Wound botulism.“ *Vet. Hum. Toxicol.*, 36(3), 233–237.

MIDURA, T. F. & ARNON, S. S. (1976). „Infant botulism: Identification of *Clostridium botulinum* and its toxins in faeces.“ *Lancet*, 2(7992), 934–936.

MONTECUCCO, C. & SCHIAVO, G. (1993). „Tetanus and botulism neurotoxins: a new group of zinc proteases.“ *Trends Biochem. Sci.*, 18(9), 324–327.

ROONEY, J. R. & PRICKETT, M. E. (1967). „New puzzler for equine practitioners: shaker foal syndrome.“ *Mod. Vet. Pract.*, 48, 44–45.

SUGII, S. & SAKAGUCHI, G. (1977). „Botulogenic properties of vegetables with special reference to the molecular size of the toxin in them.“ *J. Food Saf.*, 1, 53–56.

WEIN, L. M. & LIU, Y. (2005). „Analyzing a bioterror attack on the food supply: the case of botulinum toxin in milk.“ *PNAS* 102, 9984-9989.

WOHLFARTH, K., GOSCHEL, H., FREVERT, J., DENGLER, R. & BIGALKE, H. (1997). „Botulinum A toxins: units versus units.“ *Naunyn Schmiedebergs Arch. Pharmacol.*, 355(3), 335–340.



## 5.9 Möglichkeiten und Grenzen des Vor-Ort-Nachweises von biologischen Kampfstoffen

*Heiko Russmann*

### Zusammenfassung

Biologische Kampfstoffe gelten noch immer als eine große Bedrohung. Wegen der fehlenden technologischen Grundlagen ist der Vor-Ort-Nachweis von biologischen Kampfstoffen unzureichend oder entspricht nur teilweise den militärischen Forderungen. Besonders die zu fordernden niedrigen Nachweisgrenzen und die notwendige hohe Zuverlässigkeit gegenüber Fehlalarmen sind eine Herausforderung, die zurzeit nur in stationären Speziallaboratorien befriedigend gelöst werden kann. Für den Einsatz bei der Bundeswehr sind verschiedene Systeme in der Entwicklung oder Beschaffung, die diese Lücke sukzessive schließen sollen. Die einzelnen Systeme werden später im Zusammenspiel eine räumliche und zeitliche Staffelung bei der B-Aufklärung gewährleisten. Dabei werden verschiedene Nachweisttechnologien kombiniert, um die geforderte Zuverlässigkeit sicherzustellen.

Durch die Ereignisse der letzten Jahre ist die potenzielle Bedrohung durch biologische Kampfstoffe erneut in das Bewusstsein der Bevölkerung gerückt und hat zu einem verstärkten Interesse im Bereich des Schutzes vor diesen Kampfstoffen geführt. Spätestens seit dem Golfkrieg von 1991, den Veröffentlichungen über die Aktivitäten der ehemaligen UdSSR und den Anthraxanschlägen in den USA 2001 wurde gewahr, dass internationale Ächtung und Verträge keinen ausreichenden Schutz bieten und sehr wohl „sein kann, was nicht sein darf“. Das WIS beschäftigt sich seit seiner Gründung vor fast fünfzig Jahren mit dem technischen Schutz der Bundeswehr vor ABC-Kampfstoffen und -waffen. Prinzipiell lässt sich dieser technische Schutz in drei Bereiche gliedern:

- Aufklärung (Detektion, bzw. Nachweis)
- Schutzmaßnahmen
- Dekontamination

Diese drei Bereiche stehen in einer chronologischen Reihung. Das Einleiten von Schutzmaßnahmen und die anschließende Dekontamination setzen zwingend eine erfolgreiche und zeitgerechte Aufklärung voraus.

Während für die Bereiche der Schutzmaßnahmen und Dekontamination seit vielen Jahren technisch hoch entwickelte Lösungen vorhanden sind, gibt es besonders bei der Detektion von biologischen Kampfstoffen noch Lücken, die es in den nächsten Jahren zu schließen gilt.

Der Begriff der biologischen Kampfstoffe ist deutlich unschärfer gefasst wie z. B. der der chemischen Kampfstoffe. Die völkerrechtlich verbindliche Definition von biologischen Kampfstoffen aus dem „Übereinkommen über das Verbot der Entwicklung, Herstellung und Lagerung bakteriologischer (biologischer) Waffen und Toxinwaffen sowie über die Vernichtung solcher Waffen“ vom 10. April 1972 lautet:

*„Artikel 1 (1) mikrobiologische oder andere biologische Agenzien oder – ungeachtet ihres Ursprungs oder ihrer Herstellungsmethode – Toxine, von Arten und in Mengen, die nicht durch Vorbeugungs-, Schutz- oder sonstige friedliche Zwecke gerechtfertigt sind“*

In Deutschland lässt sich für eine Definition zusätzlich die „Kriegswaffenliste“ (letzte Änderung 26. Februar 1998) heranziehen. Im Allgemeinen werden die biologischen Kampfstoffe in drei Hauptgruppen unterteilt: bakterielle Erreger, virale Erreger und Toxine (biogene Gifte). Sie umfassen also eine Spanne von lebenden Organismen bis hin zu chemisch definierbaren Substanzen. Alleine diese Tatsache erklärt schon, warum der Nachweis von biologischen Kampfstoffen mit einem System erheblich schwieriger und aufwändiger zu realisieren ist als z. B. von chemischen Kampfstoffen.

Die derzeitigen Defizite in der B-Detektion sind aber weniger auf unzureichende Finanzierung oder mangelnden Beschaffungswillen, als vielmehr auf die fehlenden technischen und technologischen Lösungsmöglichkeiten zurückzuführen.

Durch die hohe Infektivität der B-Kampfstoffe (z. B. bei *Francisella tularensis* im Bereich von zehn inhalierten Keimen) können auch sehr niedrige Kampfstoffkonzentrationen eine Gefahr darstellen und bedingen die Forderung nach

sehr niedrigen Ansprechschwellen oder Nachweisgrenzen der Detektionssysteme.

Eine weitere Schwierigkeit bei der B-Detektion liegt in der Unterscheidung von natürlichen Ereignissen und Angriffen/Anschlägen mit biologischen Kampfstoffen. In unserer Umwelt sind Bakterien, Viren und biologische Stoffe ubiquitär und teilweise in großen Konzentrationen vorkommend. Jedoch ist nur ein sehr geringer Anteil dieser Stoffe für uns krankheitserregend oder gefährlich.

Biologische Kampfstoffe selber sind diesen natürlich vorkommenden Stoffen sehr ähnlich. Durch die modulare, komplexe Bauweise in der Biologie unterscheiden sich biologische Kampfstoffe und der natürliche Hintergrund im Wesentlichen nur durch die Anordnung einzelner Bausteine, nicht aber durch die Bausteine selbst. (Beispiel: Alle Proteine bestehen aus Sequenzen von zwanzig unterschiedlichen Aminosäuren, DNA und RNA bestehen aus Sequenzen von je vier unterschiedlichen Basen).

Verfügbare Echtzeit-B-Detektionssysteme erkennen nur einfach aufgebaute Moleküle oder mehr oder weniger spezifische Veränderungen des Partikelspektrums in der Umgebung. Diese Systeme eignen sich daher prinzipiell nicht, um Kampfstoffe von natürlich vorkommenden Stoffen sicher zu unterscheiden und werden daher eingesetzt, um nachgeschaltete, zeitaufwändigere Nachweisgeräte zu starten („Trigger“). Systeme zur verlässlichen Identifikation sind in der Regel nur durch qualifiziertes Personal zu bedienen, arbeiten nicht kontinuierlich und/oder erforderliche Nachweiszeiten und -grenzen liegen weit über den militärischen Forderungen.



**Abb. 80:** BWAAW-System: Kontinuierlich arbeitendes Bioaerosol-Warnsystem der Deutschen Marine

Um den militärischen Forderungen der B-Aufklärung zu genügen, sind daher Systeme geplant, die im Einsatz zeitlich und räumlich gestaffelt werden. Für die Bundeswehr befinden sich derzeit verschiedene B-Aufklärungssysteme in Entwicklung oder Beschaffung, angefangen von Netzwerken von Einzeldetektoren zur großräumigen Absicherung, dem mobilen B-Aufklärungsfahrzeug bis hin zum verlegbaren Feldlaboratorium. Weitere Systeme, wie die laserbasierenden B-Fernortung zur berührungslosen Erkennung von Kampfstoffwolken auf große Entfernungen, mobile und autonom arbeitende B-Nachweissysteme und B-Detektions- und Sammelsysteme auf der Plattform unbemannter Flugzeuge (UAV), befinden sich in der Konzeptions- und Forschungsphase.

Selbstkritisch muss festgestellt werden, dass die größten Innovations sprünge bei B-Nachweis zur Zeit nicht durch militärische Forschung, sondern durch die Entwicklungen auf dem zivilen medizinisch-diagnostischen oder analytischen Markt kommen, da in diesen Bereichen die verfügbaren Forschungs- und Entwicklungsmittel ungleich höher sind. In weiten Bereichen läuft jedoch die Zielrichtung von Verbesserungen (Automatisierung und Miniaturisierung) von zivilen Diagnose- oder Analysegeräten mit denen militärischer B-Aufklärungssysteme parallel, so dass der militärische Bedarfsträger direkt partizipieren kann.

Durch die gestiegene Nachfrage an B-Detektions- und B-Nachweisystemen nach 2001 und durch neue Geräteentwicklungen im zivilen Bereich sind in den letzten Jahren vermehrt Geräte auf den Markt gekommen, die sich, zumindest in Teilbereichen, als Komponenten für Systeme zum Nachweis von biologischen Kampfstoffen eignen.



**Abb. 81:** BAWS-System: Aerosol-Warnsystem, bestehend aus mehreren autonomen Einzeldetektoren (Bild) und einem zentralen Steuerrechner zur großräumigen Überwachung und Absicherung von kritischer Infrastruktur

Bei der militärischen Aufklärung biologischer Kampfstoffe ist man aber auch mit notwendigen Forderungen konfrontiert, die in ihrer Gesamtheit den Einsatz von Systemen aus der medizinischen Diagnostik oder chemischen Analytik stark einschränken:

- Da der Einsatz der Kampfstoffe unbestimmt ist (Ort, Zeit, ob überhaupt), muss das Detektionskonzept eine kontinuierliche Überwachung der Umgebung gewährleisten (bedrohungsgerechte B-Aufklärung).
- Ein zuverlässiges Ergebnis muss zwingend in kurzer Zeit vorliegen, um in eine operationelle Entscheidung einfließen zu können (zeitgerechte B-Aufklärung; Anmerkung: bei einer Diagnostik dauert ein Laborbefund i. d. R mindestens 24 Stunden, die militärische Forderung ist max. 60 Minuten!).
- Die Nachweisgrenze sollte so niedrig sein, dass eine Gefährdung der betroffenen Soldaten ausgeschlossen ist (Zuverlässigkeit gegen Fehler 1. Ordnung).
- Eine Diskriminierung vom natürlichen Hintergrund muss sichergestellt sein, um häufige Fehlalarme zu vermeiden (Zuverlässigkeit gegen Fehler 2. Ordnung).
- Einfache Handhabung und Auswertung der Geräte (nutzerkonforme B-Aufklärung).

Durch diese militärspezifischen Forderungen besteht noch immer die Notwendigkeit einer Anpassungsentwicklung von zivilen Systemen an militärische Erfordernisse. So wird seit Januar 2002 erfolgreich auf den Einheiten der Deutschen Marine der B-Kampfstoffnachweis auf der Basis von robusten, handelsüblichen Laborgeräten durchgeführt. Lediglich die zugehörigen Testkits und Nachweismethoden wurden vom WIS entwickelt und adaptiert.

Um die notwendige Zuverlässigkeit der Systeme zu gewährleisten, werden in der Regel verschiedene, technologisch unabhängige Methoden und Verfahren kombiniert. Technisch lassen sich dabei drei Verfahren unterscheiden:

- immunologische Messsysteme (basierend auf der hochselektiven Bindung von Antikörpern)
- molekulargenetische Nachweissysteme (basierend auf dem Nachweis der genetischen Information, i. e. PCR)
- instrumentelle Messsysteme (basierend auf physikalischen oder biochemischen Eigenschaften der B-Kampfstoffe)

Bei immunologischen Verfahren (z. B. Biosensoren) werden die hochspezifischen Bindungs- und Erkennungsfähigkeiten von Antikörpern ausgenutzt. Dazu werden Antikörper entwickelt, die hochspezifisch Oberflächenstrukturen von einzelnen B-Kampfstoffen erkennen und dort binden. Die erfolgte Anbindung lässt sich dann über chemische oder physikalische Methoden feststellen und auswerten.

Bei molekulargenetischen Verfahren (z. B. PCR) werden auf der Ebene der Erbinformationen (DNA, RNA) in Viren oder Bakterien spezifische Genabschnitte von einzelnen B-Kampfstoffen gesucht. Über chemische oder physikalische Methoden lässt sich der Genabschnitt detektieren und auf das Vorhandensein des B-Kampfstoffes schließen.



**Abb. 82:** PCR-System: Geräte dieses Typs sind seit Januar 2002 bei Einheiten der Deutschen Marine zur B-Kampfstoffidentifizierung im Einsatz

Instrumentelle Methoden (z. B. UV-APS (FLAPS), Massenspektrometrie, IR- oder Raman-Spektrometrie) nutzen die Tatsache, dass man bei biologischen Stoffen oftmals so genannte Biomarker finden kann. Diese sind molekulare Signaturen, die charakteristisch für eine bestimmte Substanz sind. Durch den Nachweis eines spezifischen Biomarkers kann auf die Anwesenheit eines B-Kampfstoffes geschlossen werden.

Jedes dieser Verfahren hat prinzipielle Einschränkungen, so dass die für die B-Aufklärung notwendigen Informationen nur durch die Kombination verschiedener Geräte und Systeme erhalten werden können. Dazu ist es jedoch zwingend erforderlich, eine genaue Vorstellung der zu erwartenden Szenarien zu haben und die Leistungsparameter der verfügbaren Messsysteme mit allen Vor- und Nachteilen genau zu kennen. Als zeitkritische Schritte für die Detektion sind folgende Schritte zu betrachten:

- Probensammlung
- Probenaufarbeitung
- Messung
- Auswertung

Auch hier unterscheiden sich die einzelnen Techniken grundlegend. So sind z. B. für immunologische und molekulargenetische Methoden in der Regel zeitaufwändige Probenaufarbeitungsschritte notwendig, die die Detektionszeit insgesamt verlängern. Berührungslose (Fernortung) oder rein optische Verfahren (UV-APS) benötigen hingegen grundsätzlich keinerlei Probenaufarbeitung. Nach der Einführung erster Geräte zur B-Aufklärung bei der Truppe erlangen Aspekte wie Ausbildung des Personals, „In-Übung-halten“ der Bediener und Qualitätssicherung (z. B. Ringversuche) immer größere Relevanz. Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Planung für diese Punkte spätestens zeitgleich mit der Beschaffung begonnen werden muss.



# 6

## Aviäre Influenza



## 6.1 Einleitung

*Petra Dickmann*

Vogelgrippe, Geflügelpest, H5N1 waren im Sommer 2005 in aller Munde: der für Vögel, insbesondere für Geflügel hoch virulente Influenza-Stamm H5N1 breitete sich von Südostasien aus und hatte Russland erreicht. Im August 2005 hatte die Bundesregierung daher an Reisende appelliert, einem Einschleppen der Seuche nach Deutschland durch Beachtung der Schutzmaßnahmen entgegenzuwirken. Im Februar 2006 wurden in Deutschland die ersten infizierten Wildvögel auf Rügen entdeckt, im April 2006 kam es in Sachsen zum ersten und bisher einzigen Ausbruch des H5N1-Virus in einem deutschen Geflügelbetrieb.

Die Vogelgrippe erregt aus zweierlei Gründen Besorgnis: zum einen ist der H5N1-Influenza-Stamm für Geflügel hoch pathogen und seine Ausbreitung (Zugvögel, Schmuggel etc.) wird in den ökonomischen Konsequenzen befürchtet. Zum anderen wurde in den letzten Jahren das sporadische Überspringen des H5N1-Stammes auf den Menschen beobachtet, wobei sich seine Gefährlichkeit auch für den Menschen zeigte: ein Großteil der Personen, die durch H5N1-Viren erkrankten, verstarben. Das aviäre Influenzavirus A H5/N1 wird zurzeit als möglicher Kandidat zur Auslösung einer neuen Influenzapandemie gehandelt. Diese Gefahr besteht jedoch nur, wenn sich das Virus so verändert, dass es effektiv auf den Menschen übertragbar wird. Aufgrund des starken Interesses in der deutschen Öffentlichkeit wurde das Programm der GERMAN BIOSAFETY daher kurzfristig um zwei Vorträge zum Thema erweitert.

Der Vortrag von **Christine Uhlenhaut** „Aviäre Influenza – Vorbote einer Influenzapandemie“ gibt zunächst auf naturwissenschaftlicher Grundlage eine Einführung in die Variabilität und Pathogenität des Influenzavirus und seiner Varianten. Anhand der Virusstruktur werden grundsätzliche Angriffspunkte für Prophylaxe und Inaktivierung aufgezeigt, ebenso werden Impfstoffherstellung und Nachweismethoden vorgestellt.

**Anne Becker** beleuchtet in ihrem Vortrag „Infektionen durch H5N1 beim Menschen – Ausnahme oder Vorboten einer Pandemie?“ die Klinik, die diagnostischen und therapeutischen Maßnahmen bei humanen Fällen aviärer Influenza.

## 6.2 Vogelgrippe – Vorbote einer Influenzapandemie?

*Christine Uhlenhaut*

### Zusammenfassung

Seit Mitte 2003 hat sich von Südostasien aus die aviäre Influenza (H<sub>5</sub>N<sub>1</sub>) bis Europa und Afrika in Wildvögeln und Hausgeflügel ausgebreitet. In der Folge ist es zu schweren wirtschaftlichen Verlusten gekommen. So sind im Jahr 2004 ca. zwölf Prozent des Hausgeflügels in Vietnam an den Folgen der Infektion verendet oder wurden gekeult, um eine weitere Ausbreitung zu verhindern. In vereinzelt Fällen ist es auch zur humanen Infektionen mit dem Virus gekommen; in den meisten Fällen in Zusammenhang mit engem Kontakt zu infizierten Tieren. Es gibt jedoch auch ein Cluster von Erkrankungen, das eine Mensch-zu-Mensch-Übertragung möglich erscheinen lässt. Bisher gibt es 251 von der WHO bestätigte humane Infektionen, davon 148 mit tödlichem Verlauf (Stand vom 28. September 2006). Diese humanen Fälle werfen die Frage auf, ob das zurzeit kursierende H<sub>5</sub>N<sub>1</sub>-Virus das Potenzial hat, eine neue Grippe-Pandemie auszulösen und ob diese Pandemie so verheerend wie die Spanische Grippe von 1918 sein würde.

Um uns auf die Möglichkeit einer neuen Pandemie vorzubereiten, ist es wichtig, dass wir verstehen, wie das Virus weitergegeben wird und wie es sich auf seinem Weg verändert.

### Virologische Grundlagen der aviären Influenza

Die aviäre Influenza – Vogelgrippe oder Geflügelpest – ist eine ansteckende Krankheit, die von Influenzaviren vom Typ A verursacht wird. Sie kommt weltweit vor und während man annimmt, dass alle wilden Wasservögel infiziert werden können, zeigen nicht alle infizierten Tiere auch Symptome der Infektion. In diesen Eigenschaften unterscheiden sich die verschiedenen Geflügel-/Vogelarten. So können zum Beispiel wilde Wasservögel mit bestimmten Influenza-A-Viren asymptomatisch infiziert sein, wenn man dasselbe Virus

jedoch in eine Population von Hausgeflügel einbringt, zeigt sich eine Morbidität von hundert Prozent und eine Mortalität von über neunzig Prozent. In Deutschland gibt es rund 90.200 Betriebe mit Hühnern, davon 10.900 mit Masthühnern und 86.800 mit Legehennen. Ca. 7,4 Prozent der Tiere werden in Bodenhaltung gehalten, ca. 8,7 Prozent in Freilandhaltung und 83,9 Prozent in Käfighaltung. In Deutschland werden ca. 109,8 Millionen Hühner und 13,6 Millionen sonstiges Geflügel (Truthühner, Enten, Gänse) gehalten (Statistisches Bundesamt).

Die Weltbank hat verschiedene Modellrechnungen durchgeführt, um den Schaden einer Pandemie abzuschätzen. Es wurden drei verschiedene Varianten durchgespielt: ein milder Verlauf (analog zur Hongkong-Grippe von 1968-9), ein moderater Verlauf (analog zur Asiatischen Grippe von 1957) und schwerer Verlauf (analog zur Spanischen Grippe von 1918-9). Dabei wird eine Abnahme des Bruttoinlandsproduktes (weltweit) innerhalb des ersten Jahres errechnet, für das milde Szenario wird von  $-0,7$  Prozent, für das moderate Szenario von  $-2,0$  Prozent und für den schweren Verlauf von  $-4,8$  Prozent ausgegangen. Für Europa und Zentralasien sind die entsprechenden Werte  $-2,1$  (mild),  $-4,8$  (moderat) und  $-9,9$  (schwer).

Üblicherweise sind Influenza-Infektionen spezies-spezifisch, d. h. dass Viren, die eine bestimmte Spezies infizieren (Mensch, bestimmte Vogelarten, Schweine, Pferde usw.) nicht auf andere Spezies übergreifen. In den letzten Jahrzehnten wurden nur rund zehn Transmissionen von aviärer Influenza auf Menschen beschrieben. Es gibt rund 250 mögliche Stämme von aviärer Influenza; bisher wurden nur vier davon auf Menschen übertragen (H5N1, H7N3, H7N7 und H9N2). Die meisten dieser Viren verursachen milde Krankheitsverläufe, mit der Ausnahme von H5N1. Der derzeitige Ausbruch von aviärer Influenza begann Mitte 2003 in Südostasien und hat sich bis Europa und Afrika ausgebreitet. Humane Fälle wurden aus sechs Ländern gemeldet: Kambodscha, China, Indonesien, Thailand, Türkei und Vietnam.

## **Benennung und Struktur der Influenzaviren**

Die Influenzaviren gehören zur Familie der Orthomyxoviren, diese umfasst Influenza A-, B- und C- sowie weitere Viren (Thogotoviren). Influenza C kann Menschen und Schweine infizieren, führt aber nicht zu schwerwiegenden

Erkrankungen. Im Kindesalter werden vereinzelt leichte respiratorische Infekte festgestellt. Influenza B-Viren können Menschen infizieren, sie wurden vereinzelt auch aus Robben isoliert. Diese Viren können die im Winterhalbjahr typischen systemischen und respiratorischen Erkrankungen verursachen. Das Virus zeigt keine große Vielfalt und wird daher nicht weiter in Subtypen unterteilt.

Influenza A-Viren können anders als Influenza B und C viele unterschiedliche Spezies infizieren: Schweine, Pferde, Robben aber auch Hausgeflügel wie Hühner oder Puten und Wasservögel wie Enten oder wilde Wasservögel wie Möwen. Influenza A-Viren können auch Menschen infizieren. Damit kann dieses Virus – anders als Influenza B- und C-Viren – Vögel und Säuger infizieren. Influenza A-Viren zeigen eine große genetische Variabilität und werden in Subtypen eingeteilt, die unterschiedliche Pathogenität (krankmachenden Eigenschaften) und unterschiedliche Wirtsspektren haben. Die genetische Vielfalt beinhaltet die Möglichkeit zur Entwicklung von neuartigen Influenza-Erregern, die dann neue Eigenschaften aufweisen können.

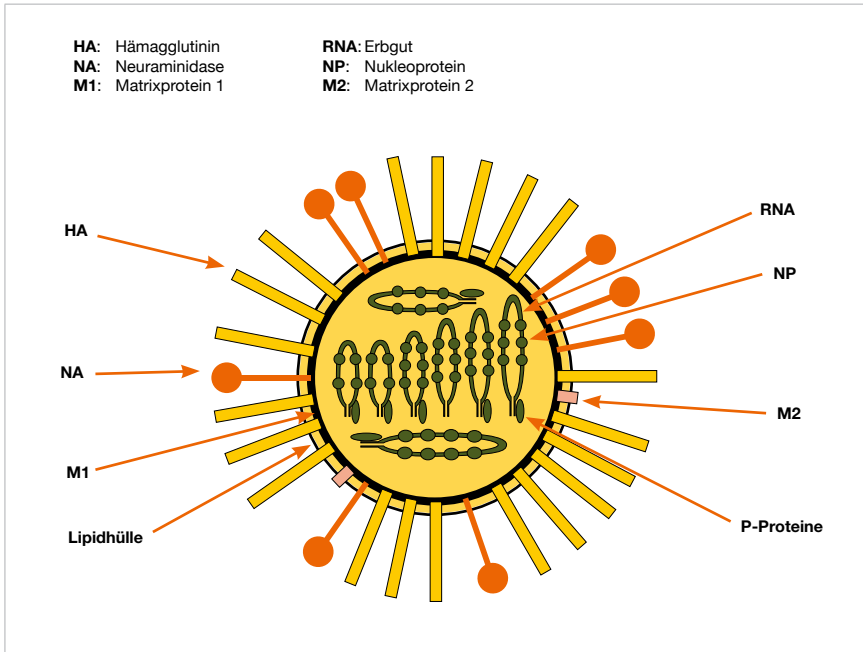


Abb. 83: Schematischer Aufbau von Influenza A-Viren

Influenzaviren (schematische Darstellung Abb. 83) haben ein einzelsträngiges RNA-Genom in Negativstrang-Orientierung. Das Genom ist segmentiert, d.h. es liegt in acht unabhängigen Abschnitten vor (Influenza A und B, Influenza C: sieben Segmente). Die RNA-Segmente sind mit verschiedenen Proteinen assoziiert (NP, P-Proteine). Die Virushülle besteht aus unterschiedlichen Komponenten: Es gibt Proteine wie das „Matrix“-Protein M1 oder M2 sowie eine äußere Lipidhülle. Wesentliche Merkmale des Influenza A-Virus sind die Neuraminidase (NA) und das Hämagglutinin (HA). Diese beiden Strukturmerkmale sind für die Infektion notwendig und werden außerdem verwendet, um die Namen der Subtypen zu kategorisieren. Es sind 16 verschiedene Hämagglutinine und neun Neuraminidasen bekannt, die Kombination eines Hämagglutinin-Types mit einem Neuraminidase-Typ führt zu den jeweiligen Subtypen (H1N1, H5N1 usw.). Die einzelnen Viren, die in einem Subtyp zusammengefasst werden, bekommen Namen, die sich aus dem Genus (A, B oder C), dem



Tier, aus dem das Virus zuerst isoliert wurde, einer geographischen Angabe, die Stammmnummer und dem Jahr der Isolierung zusammensetzt, in Klammern kann der Subtyp angefügt sein, z. B.: A/Swine/Iowa/15/30 (H1N1); der Wirt wird bei humanen Influenzastämmen meist nicht angegeben, z. B.: A/Puerto Rico/8/34 (H1N1).

Nicht alle möglichen Influenza-Subtypen können jeden Wirt infizieren; bisher waren nur Viren des Typs H1, H2 und H3 in Kombination mit N1 oder N2 von Mensch zu Mensch übertragbar. Es gibt aktuell drei kursierende humane Influenza A-Viren (H1N1, H1N2 und H3N2). Während die meisten Säugetiere und Menschen also nur von wenigen Influenza-Subtypen infiziert werden können, findet man in Vögeln alle bekannten Subtypen, die sich aus den denkbaren Kombinationen von Hämagglutinin und Neuraminidase bilden lassen (Tabelle 30). Es gibt durchaus Überschneidungen, z. B. können Viren des gleichen Subtyps Menschen und Schweine infizieren.

		Vögel	Mensch	Schwein	Pferd	Wal	Seehund	Nerz
<b>Hämagglutinin</b>	H1	+	+	+		+		
	H2	+	+					
	H3	+	+	+	+			
	H4	+					+	
	H5	+						
	H6	+						
	H7	+			+		+	
	H8	+						
	H9	+						
	H10	+						+
	H11	+						
	H12	+					+	
	H13	+					+	
	H14	+						
	H15	+						
	H16	+						
<b>Neuraminidase</b>	N1	+	+	+				
	N2	+	+	+		+		
	N3	+				+		
	N4	+						+
	N5	+					+	
	N6	+						
	N7	+			+		+	
	N8	+			+			
	N9	+					+	

Tab. 30: Influenza A-Subtypen

Die unterschiedlichen Influenza A-Subtypen führen in den verschiedenen Vogelarten zu unterschiedlichen Krankheitsverläufen. In der Regel verlaufen Influenzavirus-Infektionen bei Geflügel außerordentlich mild oder inapparent. In einigen Fällen wird jedoch eine hoch pathogene Verlaufsform beobachtet, die so genannte *highly pathogenic avian influenza* – (HPAI). Diese Erkrankung wird als „Geflügelpest“ bezeichnet und wird nur von den Subtypen H5 und H7 verursacht (und hier auch nur in Kombination mit bestimmten Neuraminidasen). Die Infektion von Hausgeflügel mit diesen hoch pathogenen Erregern führt zur Erkrankung der Tiere (Morbidity hundert Prozent) und zu einer sehr hohen Sterblichkeit (Mortalität über neunzig Prozent). Bei dieser Erkrankung handelt es sich um eine anzeige- und bekämpfungspflichtige Krankheit. Die Unterscheidung in HPAI und LPAI (*lowly pathogenic avian influenza*) wird nur für Vogel-Influenzaviren gemacht. Häufig sind wild lebende Wasservögel infiziert und scheiden Viren aus, ohne Symptome zu zeigen; daher ist eine Ausrottung von H5N1 in der Wildvogelpopulation in naher Zukunft nicht sehr wahrscheinlich. In der Folge müssen wir damit rechnen, dass erneut Hausgeflügel durch Wildgeflügel infiziert werden kann.

Die dramatischen Unterschiede und der Wandel in der Pathogenität der unterschiedlichen Influenza A-Subtypen können zum Beispiel durch Veränderungen im Hämagglutinin hervorgerufen werden. Ein Beispiel hierfür ist die proteolytische Aktivierung von Hämagglutinin. Untersuchungen an Influenzaviren von Vögeln und Säugern haben gezeigt, dass sich die Viren hinsichtlich der Spaltbarkeit ihrer Hämagglutinine in zwei Gruppen einteilen lassen. Das Hämagglutinin des Influenzavirus muss von Enzymen des Wirtes (also z.B. des infizierten Menschen) prozessiert werden. Einmal wird Hämagglutinin durch Furin oder verwandte Protease prozessiert und somit aktiviert. Diese Enzyme kommen praktisch in allen Geweben vor. Die Viren, deren Hämagglutinin so aktiviert wird, breiten sich daher rapide im gesamten Organismus aus und eine Infektion mit ihnen führt zu sehr schwerem, häufig letalem Krankheitsverlauf. Die andere Gruppe von Viren wird dagegen von Proteasen aktiviert, die nur in ganz speziellen Geweben vorkommen (z.B. *Tryptase Clara* in den Lungepithelien). Somit sind die Viren in ihrer Ausbreitungsfähigkeit, ihrem Gewebetropismus, beschränkt und haben in der Konsequenz eine geringere Pathogenität (niedrig pathogene Viren)

Die hoch pathogene Vogelgrippe ist keine besonders „neue“ Erkrankung; die so genannte „klassische Geflügelpest“ wurde zuerst 1878 in Italien beschrieben.

Ende der 20er Jahre des letzten Jahrhunderts gab es hohe Verluste bei Ausbrüchen unter Geflügel in Europa, Amerika und Asien. In der Zwischenzeit kam es immer wieder zu sporadischen Ausbrüchen (ca. zwanzig) in Europa, den USA und in Mexiko. Bereits 1997 gab es einen Ausbruch von H5N1 in Hongkong, hierbei fanden auch Übertragungen auf Menschen statt. Ein H7N1 Ausbruch fand 1999/2000 in Italien statt. Im Jahr 2003 gab es einen Ausbruch von H7N7 in den Niederlanden, Belgien und auch in Deutschland. Bei diesem Ausbruch wurden 453 Personen mit Verdacht auf Influenza erfasst (darunter 359 Fälle mit Konjunktivitis). In vielen dieser Fälle konnte das Virus in Proben von Patienten nachgewiesen werden. Darunter waren 87 Fälle von Konjunktivitis, zwei Fälle von Influenza-like-illness (ILI). In drei Fällen wurde eine Mensch-zu-Mensch-Übertragung nachgewiesen: es handelt sich um Konjunktivitis bei Kontaktpersonen von Arbeitern, die an den Keulungen der infizierten Tiere beteiligt waren.

Die drei Kontaktpersonen mit H7-assoziierte Konjunktivitis waren also nicht in direktem Kontakt mit infiziertem Geflügel, bei diesen Fällen handelte es sich um Schmierinfektionen, nicht um Aerosolübertragung. Eine Person ist infolge der H7N7-Infektion verstorben, hierbei handelt es sich um einen niederländischen Veterinär, der ohne ausreichende Schutzmaßnahmen Kontakt mit einer enormen Anzahl infizierter Geflügeltiere hatte und der keine Postexpositionsprophylaxe erhalten hat.

Warum kann H5N1 jetzt Menschen infizieren, wenn es das zuvor nicht konnte? Das liegt an Veränderungen im Erbgut des Virus, die sich auf seine Eigenschaften auswirken. Wenn sich diese Oberflächeneigenschaften des Virus verändern, kann es sich anpassen, z. B. an einen neuen Wirt.

Es gibt zwei prinzipielle Arten der Veränderung: wie oben ausgeführt, werden die Influenza-Subtypen nach dem Hämagglutinin „H“ und der Neuraminidase „N“ unterschieden, z. B. H1N1, H5N1 usw. Ausgehend von den bekannten Hämagglutininen und Neuraminidasen gibt es über 250 Kombinationsmöglichkeiten. Die Subtypen entstehen durch den Austausch von ganzen Genomsegmenten, dieser Vorgang wird als Antigen-Shift bezeichnet (wenn ein H6N8-Virus die Neuraminidase vom Typ 3 übernimmt, entsteht Subtyp H6N3 usw).

Eine Grundvoraussetzung für Antigen-Shift ist die gleichzeitige Infektion ein- und desselben Tieres mit zwei unterschiedlichen Influenzaviren. Diese

Viren müssen dieselbe Zelle desselben Tieres infizieren. Nur dann kann es passieren, dass die infizierte Wirtszelle Virusbestandteile produziert und beim Zusammenbau dann Komponenten der Viren miteinander vertauscht werden. Unter diesen Umständen können „neue“ Viren entstehen, die sich in ihren Eigenschaften von denen der ursprünglich infizierenden Viren unterscheiden.

Influenzaviren verändern sich aber nicht nur durch den Austausch ganzer Genomsegmente, wenn es zu Ko-Infektionen kommt. Es kommt im Verlauf der Replikation – also der Produktion von Viruspartikeln in der infizierten Wirtszelle – auch zu Mutationen. Diese Mutationen führen nicht zu einem neuen Subtyp mit einer neuen Bezeichnung für H und N, sondern zu einem neuen Virus mit veränderten Eigenschaften innerhalb des Subtyps.

Ein prominentes Beispiel für die Mutation von Influenzaviren ist die beobachtete Entwicklung von Resistenzen gegen Amantadin. Dieses Medikament greift am M2-Protein an. Es wurde beschrieben, dass nach einer Woche Amantadin-Behandlung ca. fünfzig Prozent der Viren – aufgrund von Resistenzbildung durch einzelne Mutationen – resistent gegen dieses Medikament waren.

Man hat lange Zeit geglaubt, dass pandemische Influenzaviren nur durch die Vermischung von humanen und animalen Viren entstehen können. Eine Hypothese besagt, dass die „Spanische Grippe“ ursprünglich ein Vogelvirus war. Dieses soll sich im Schwein als mixing vessel (Mischgefäß) mit humanen Influenzaviren durch Antigen-Shift verändert haben und die neu gebildete Reassortante zeigte die bekannten humanpathogenen Eigenschaften. Sequenzierungen des H1N1-Virus (gewonnen aus Proben von an der „Spanischen Grippe“ Verstorbenen) haben aber nun gezeigt, dass es sich um ein reines Vogelvirus handelt, dass durch Mutationen und nicht durch Genom-Segment-Austausch in die Lage versetzt wurde, Menschen zu infizieren und sogar von Mensch zu Mensch übertragbar wurde.

Im Schnitt gab es seit Ende des 19. Jahrhunderts alle dreißig Jahre eine Influenzapandemie unterschiedlichen Ausmaßes. Über die Zeit davor sind keine verlässlichen Aussagen über die Häufigkeit und Schwere von Influenza-Ausbrüchen bekannt. Die Pandemie 1889 wurde vermutlich von H<sub>2</sub>N<sub>2</sub>, die von 1900 von H<sub>3</sub>N<sub>8</sub> ausgelöst. Die „Spanische Grippe“ von 1918 wurde vom Subtyp H1N1 verursacht. Die nachfolgenden Grippe-Pandemien des letzten Jahrhunderts, 1957 und 1968, die Asiatische (H<sub>2</sub>N<sub>2</sub>) und die Hongkong Grippe

(H3N2) sind zwar durch Reassortment (also Antigen-Shift) mit diesem H1N1 entstanden, aber der Genom-Austausch fand mit anderen Vogelviren statt. Die Asiatische Grippe (H2N2) gilt zurzeit als ausgerottet. Eine kleine Pandemie fand 1977 statt, die so genannte „Russische Grippe“; hierbei handelt es sich möglicherweise um eine versehentliche Freisetzung aus einem Labor. Der derzeitige Grippe-Impfstoff enthält aktuelle Varianten von H1N1 und H3N2. Aktuelle Varianten bedeutet in diesem Fall, dass die WHO jedes Jahr (meist im Februar) herausgibt, welche genetischen Veränderungen (Antigen-Drift) beobachtet wurden, so dass der Impfstoff „aktualisiert“ wird. Außerdem ist ein Influenza B-Virus im Impfstoff enthalten.

Antivirale Influenzamedikamente und Virusinaktivierung:  
Drei Strukturen des Virus bieten Angriffsflächen:

- Neuraminidase
- M2-Protein
- Lipidhülle

Neuraminidase und M2-Protein sind Ziele antiviraler Medikamente, die Zerstörung der viralen Lipidhülle ermöglicht die Inaktivierung von Viruspartikeln. Die Lipidhülle kann mit Detergenzien (Seifen) oder Alkohol zerstört werden; die notwendige Alkoholkonzentration zur Inaktivierung von Influenzaviren ist abhängig von der Kettenlänge des verwendeten Alkohols: die Konzentration nimmt mit der Kettenlänge des Alkohols ab; dieser Effekt beruht auf der Lipidhülle des Virus.

Substanz	Alkoholkonzentration (%)
Methylalkohol	60
Ethylalkohol	40
Isopropylalkohol	30
n-Propanol	20

Tab. 31: Inaktivierung von Influenzaviren mit Alkohol

Die Lipidhülle des Virus bedeutet, dass man sich vor Schmierinfektionen durch Einhalten einfachster Hygieneregeln schützen kann. Detergenzien zerstören die Lipidhülle und machen damit eine Infektion unmöglich. Ein Schutz vor Aerosolübertragung ist nur durch die konsequente Anwendung der richtigen Schutzmasken (inklusive Schutz der Augen) gewährleistet.

### *Impfstoffherstellung:*

Antigene für Influenza-Impfstoffe werden (noch) in Massenproduktion auf befruchteten Hühnereiern hergestellt. Hierbei unterscheidet man „Ganzzellvakzine“, die mit Formalin inaktiviert werden (und in Deutschland nicht eingesetzt werden) und so genannte „Spaltvakzine“. Diese werden mit organischen Lösungsmitteln oder Detergenzien inaktiviert. Damit sind die Virusbestandteile nicht mehr infektiös, können aber als Immunogene (Bestandteile, die das Immunsystem des Geimpften in die Lage versetzen, wirksame Antikörper gegen das vorhergesagte kursierende Virus zu produzieren) bei einer Impfung zur Bildung von Antikörpern verwendet werden. Auch gereinigte Oberflächenantigene des Virus können zur Impfung eingesetzt werden. Um die embryonierten Eier mit Virus anzupflegen, muss ein geeignetes Impfvirus gefunden werden (nach Bekanntgabe der Impfvirustypen durch die WHO). Dieses muss immunogen sein, darf aber das sich entwickelnde Hühnerembryo nicht abtöten.

Die Impfstoffherstellung unter Verwendung von embryonierten Hühnereiern hat einige Nachteile: Hühnereiweiß, das nach der Reinigung noch im Impfstoff enthalten ist, kann bei Personen mit Eiweißallergie zu allergischen Reaktionen führen. Die ausschließliche Produktion von Impfstoff unter der Verwendung von embryonierten Hühnereiern setzt eine langfristige Planung voraus, um zum geeigneten Zeitpunkt eine ausreichende Menge dieser Eier zur Verfügung zu haben. Diese Verfügbarkeit ist möglicherweise nicht gegeben, wenn die Geflügelpest große Teile der Geflügelbestände eines Landes infiziert hat oder viele Tiere aus Präventionsgründen gekeult werden müssen.

Als Alternative zur Herstellung mit Hühnereiern soll in Zukunft auf die Herstellung von Impfviren mit Zellkulturen umgestellt werden. Die Zellkulturen haben den großen Vorteil, dass sie tief gefroren eingelagert werden können. Im Bedarfsfall werden sie aufgetaut, in Kultur genommen und vermehrt. Die Zellen werden dann ähnlich wie die Hühnerembryos infiziert und produzieren

das Virus. Die Viren werden geerntet und wie zuvor beschrieben inaktiviert. Neben der leichteren Verfügbarkeit der Zellen im Vergleich zu großen Mengen embryonierter Hühnereier ist ein weiterer Vorteil der Impfstoffe aus Zellkultur, dass diese Impfstoffe auch bei Personen mit einer Hühnereiweißallergie eingesetzt werden können.

#### *Nachweis der Influenzainfektion:*

Der Influenzavirus-Nachweis wird im Fall einer Epidemie oder Pandemie nicht für den einzelnen Erkrankten durchzuführen sein. In dieser Situation wird man davon ausgehen, dass Patienten mit den „klassischen“ Symptomen, wie beispielsweise sehr hohem Fieber, an der jeweils grassierenden Influenza leiden und sie entsprechend behandeln. Für die Überwachung des Infektionsgeschehens – also die möglichst frühzeitige Identifizierung einer Epidemie – ist eine sorgfältige Labordiagnostik für Einzelfälle zu jeder Zeit sehr wichtig. Die Identifizierung von Einzelfällen zu Beginn einer Erkrankungswelle oder außerhalb der „Saison“ kann eine Epidemie frühzeitig erkennen und geeignete Intervention und das Einleiten von Präventionsmaßnahmen ermöglichen.

#### *Nachweis über Virusanzucht:*

Das Influenzavirus kann aus verschiedenen Proben, die dem Respirationstrakt entnommen werden, früh im Krankheitsverlauf isoliert werden: Sputum, Nasen- und Rachenabstriche, nasal aspirates or washes. Rachenabstriche oder -spülungen enthalten meist weniger Virus als Proben aus dem Nasenraum; daher sind Nachweise aus Rachenproben meist weniger sensitiv. Das Virus wird dann in der Zellkultur, zum Beispiel durch das Absterben der Zellen (cytopathischer Effekt, CPE) nachgewiesen. Zum Probentransport: Einfrieren bei  $-20^{\circ}\text{C}$  kann im Vergleich zur Lagerung bei  $4^{\circ}\text{C}$  zu einem beträchtlichen Verlust an Infektiosität in einer Probe führen; das Einfrieren bei  $-70^{\circ}\text{C}$  oder niedrigeren Temperaturen erhält die Infektiosität dagegen. Proben, aus den Virus angezüchtet werden soll, sollten innerhalb von ein bis vier Tagen bei  $4^{\circ}\text{C}$  gelagert und in das Labor transportiert werden.



*Antigen-Nachweis:*

Die direkte Detektion von Virusantigen (Virusmaterial, das von Antikörpern erkannt wird) ist in Sekretproben aus dem Respirationstrakt innerhalb von Stunden mit unterschiedlichen Nachweismethoden möglich (Immunfluoreszenz, Enzyme, Immunoassay, Radioimmunoassay, Time-resolved Fluoroimmunoassay). Aufgrund der sich ständig verändernden antigenen Eigenschaften der Oberflächenantigene (Antigenität) der Influenzaviren sind Tests, die Oberflächenantigene nachweisen klinisch allerdings weniger nützlich. Tests, die auf monoklonalen Antikörpern basieren, die gegen typspezifische, virale Nukleoproteine oder andere Epitope gerichtet sind, haben diese Schwäche nicht und zeigen eine höhere Genauigkeit als Tests, die polyklonale Antikörper verwenden.

*Neuraminidase-Nachweis:*

Kommerzielle Tests, die spezifisch enzymatische Aktivität von Influenza A- und B-Viren nachweisen, sind erhältlich (Schnelltests , Tab. 32).

Text	BD Direk- tigen FLU AB	BD Direk- tigen FLU A	Quick Vue Influ- enza	Actim Influ- enza A & B	FLU OA	NOW FLU-A & FLU-B	Quick S-Influ A/B	Immuno- Card STAT FLU A & B	Influ- A+B Respi- Strip
Nachweis von	A und B	A	A und B	A und B	A und B	A und B	A und B	A und B	A und B
A B Differen- zierung	Ja	Nein	Test1: Nein Test 2: Ja	Ja	Nein	Ja (zwei ver- schiede- ne Tests)	Ja	Ja	ja
Sensiti- vität	A – 86 % B – 81 %	91 %	73 %	86 %	78 %	A – 82 % B – 71 %	A-90 % B- 93 %	A – 84 % B – 100 %	A – 78 % (87 %) B- 72 %
Spezia- lität	A – 91 % B – 99 %	95 %	96 %	99 %	72 %	A – 94 % B – 97 %	A – 99 % B – 96 %	A – 98 % B – 100 %	A – 96 % (99 %) B – 100 %
Art	Memb- ranen- zym- Immuno- assay	Memb- ranen- zym- Immuno- assay	Vertikale Immuno- chroma- tographie	NP Antigen Immuno- chroma- tographie	Hori- zontale Immuno- chroma- togra- phie	NP Antigen Immuno- chroma- togra- phie		Lateral Flow Immuno- assay	Immuno- chroma- togra- phischer Test
Hersteller	Becton Dickin- son	Becton Dickin- son	Progen/ Quidei Corp	Medix Bioche- mica	Thermo Blostar	Binax	Denka Seiten	Meridian	Coris BioCon- cept
Vertrieb	Becton Dickin- son	Becton Dickin- son	Progen/ Quidei Corp	Check Dia- gnostics GmbH	VIVA-Dia- gnostika	VIVA-Dia- gnos- tika	Dako Cytoma- tion	Genzyme Virotech	Micro- test Mainz
Telefon	06221 / 305 – 134	06221 / 305 – 134	06421 / 627831	04539 / 18 16 16	0223 / 4933350	0223 / 4933350	040/ 6969470	06142 / 69090	06131 / 71071
Verfüg- barkeit	Ja	Ja	Ja	Ja	abrufbar	Ja	Ja	Ja	Ja
Haltbar- keit	Mind. 60 Tage je Prod. Charge	Mind. 60 Tage je Prod. Charge	Etwa 12 Monate je Prod. Charge	Etwa 8 – 9 Monate je Prod. Charge	Etwa 9 Monate je Prod. Charge	Bis 9 Monate je Prod. Charge	Bis 10 Monate je Prod. Charge	Etwa 10 Monate je Prod. Charge	Etwa 8 Monate je Prod. Charge
Zeit		Ca. 15 Min.	Ca. 10 Min.	Ca. 15 – 20 Min.	Ca. 15 – 20 Min.	Ca. 15 Min.	Ca. 20 Min.	Ca. 20 Min.	Ca. 20 Min.
Preis	20 Tests/ 350 EUR	20 Tests/ 330 EUR	25 Tests / 297 EUR	20 Tests/ 320 EUR Aktion 190 EUR	30 Tests / 400 EUR	22 Tests/ 495 EUR	10 Tests/ 159 EUR	32 Tests / ca. 280 EUR	25 Tests/ 198 EUR 10 Tests/ 112 EUR

Tab. 32: Überblick über Influenza-Schnellteste zum Nachweis von Influenza A- und B-Viren, die in Deutschland erhältlich sind und NRZ-Influenza evaluiert wurden

### *Nucleinsäure-Nachweis:*

Der „Goldstandard“, der im Nationalen Referenzzentrum für Influenza eingesetzt wird, ist die „Reverse Transkriptase Polymerasekettenreaktion“ RT-PCR im so genannten „real-time“-Verfahren. Hierbei wird virales Erbmaterial (RNA) aus Abstrichen von Patienten isoliert und mit Hilfe der RT-PCR (Synthese von cDNA, Vervielfältigung mit PCR) nachgewiesen. Durch Sequenzierung können der Subtyp bestimmt und Mutationen nachgewiesen werden. Der Nachweis mittels RT-PCR kann innerhalb von Stunden erbracht werden.

### *Pathogenität verschiedener Influenzaviren:*

Ob ein Influenzavirus das Potenzial hat, ein pandemischer Erreger zu werden, oder ob es sich um einen interpandemischen Erreger handelt, wird von verschiedenen Faktoren bestimmt: vom Wirtsspektrum und von der Vermehrungseffizienz des Virus, von seinem Gewebetropismus, der Infektionsausbreitung, seiner Empfindlichkeit gegenüber Abwehrmechanismen des Wirtes und dem Immunstatus der Bevölkerung. Sowohl Wirts- als auch Viruskomponenten können die Pathogenität eines Virus bestimmen – wahrscheinlich ist eine Kombination aus beiden. Allerdings können einzelne Faktoren besondere Bedeutung erlangen. Können präventiv Maßnahmen gegen eine Pandemie getroffen werden? Es gibt zwei Mechanismen, durch die pandemische Erreger entstehen können (Antigen-Shift und Antigen-Drift). Gegen die Mutationen, die während der Replikation des Virus stattfinden (Antigen-Drift), kann man nichts unternehmen. Allerdings bedeutet eine erhöhte Zirkulation von mehr Viren in der Bevölkerung oder in Tierbeständen auch eine statistisch höhere Wahrscheinlichkeit für die Entstehung eines pandemischen Erregers.

Antigen-Shift scheint zwar aktuell die weniger wahrscheinliche Möglichkeit für die Entstehung von pandemischen Erregern, sollte aber dennoch nicht vernachlässigt werden. Die Grundvoraussetzung hierfür ist die Ko-Infektion eines Individuums oder Tieres mit zwei verschiedenen Influenzaviren. Die Verringerung der Auftrittswahrscheinlichkeit dieser Möglichkeit verringert also insgesamt die Wahrscheinlichkeit von Antigen-Shift. Verringerung der Auftrittswahrscheinlichkeit bedeutet die Verringerung der Influenza-Infektionen an sich. Dies kann durch einen konsequenten Impfschutz der Bevölkerung und durch die Eingrenzung der Erkrankung in Tieren erreicht werden.

## Literaturhinweise

- KEAWCHAROEN, J., et al. (2004). „Avian influenza H5N1 in tigers and leopards.“ *Emerg.Infect.Dis.* 10(12), 2189 – 91.
- MATROSOVICH, M. N., et al. (2004). „Human and avian influenza viruses target different cell types in cultures of human airway epithelium.“ *Proc.Natl.Acad. Sci.U.S.A.* 101(13), 4620 – 4624.
- OSTERHOLM, M. T. (2005). „Preparing for the next pandemic.“ *N.Engl.J.Med.* 352(18), 1839 – 1842.
- SCHOLTISSEK, C. (1995). „Molecular evolution of influenza viruses.“ *Virus Genes.* 11(2-3), 209 – 215.
- (1997). „Molecular epidemiology of influenza.“ *Arch.Virol.Suppl.* 13, 99 – 103.
- TAUBENBERGER, J. K., et al. (2005). „Characterization of the 1918 influenza virus polymerase genes.“ *Nature.* 437(7060), 889 – 893.
- TUMPEY, T. M., et al. (2005). „Characterization of the reconstructed 1918 Spanish influenza pandemic virus.“ *Science.* 310(5745), 77 – 80.
- UNGCHUSAK, K., et al. (2005). „Probable person-to-person transmission of avian influenza A (H5N1).“ *N.Engl.J.Med.* 352(4), 333 – 40.
- WEINSTOCK, D. M., AND ZUCCOTTI, G. (2006). „Adamantane resistance in influenza A.“ *JAMA.* 295(8), 934 – 936.
- XU, X., et al. (2004). „Reassortment and evolution of current human influenza A and B viruses.“ *Virus Res.* 103(1-2), 55 – 60.

## 6.3 Infektionen durch H5N1 beim Menschen – Ausnahmen oder Vorboten einer Pandemie?

*Anne Becker*

### Zusammenfassung

Das aviäre Influenzavirus A H5/N1 wird zurzeit als möglicher Kandidat zur Auslösung einer neuen Influenzapandemie gehandelt. Diese Gefahr besteht jedoch nur, wenn sich das Virus so verändert, dass es effektiv auf den Menschen übertragbar wird.

In diesem Vortrag wird die Gefährdung des Menschen durch H5N1 in seiner jetzigen Form behandelt. Es werden die bisherigen Ausbrüche von aviärer Influenza beim Menschen, die Klinik der Erkrankung, die Übertragbarkeit des Virus auf den Menschen und Therapieoptionen vorgestellt.

Die folgenden Informationen zu den humanen Erkrankungen, die durch den aktuellen Stamm des aviären Influenzavirus H5N1 ausgelöst werden, wurden auf einem Vortrag im Rahmen der GERMAN BIOSAFETY 2005 in Stuttgart präsentiert. **An einigen Stellen wurden aktuelle Ergebnisse hinzugefügt.**

### Hongkong 1997

#### *Die ersten Ausbrüche*

Im Mai 1997 wurde parallel zu einem Ausbruch bei Geflügel in Hongkong erstmalig eine direkte Übertragung eines aviären Influenzavirus A H5N1 auf einen Menschen registriert. In einer zweiten Welle im November und Dezember des gleichen Jahres wurden weitere 17 Erkrankungsfälle laboridiagnostisch gesichert. Insgesamt kam es zu sechs Todesfällen (JAMA, 1998).

## *Gegenmaßnahmen*

Zum Zeitpunkt der zweiten Erkrankungswelle waren zwanzig Prozent des Geflügels in Hongkong mit Influenza A vom Subtyp H5N1 infiziert. Um eine weitere Übertragung auf den Menschen zu verhindern, wurden Ende Dezember 1997 innerhalb von drei Tagen 1,5 Millionen Stück Geflügel, der gesamte Hühnerbestand Hongkongs, getötet. Dadurch wurde der Ausbruch von H5N1-Infektionen sowohl bei Menschen als auch bei Geflügel gestoppt (Yuen et al., 1998). Nach 1997 fanden sich nur noch wenige Hinweise auf das Vorkommen von H5N1 in Hongkong. So wurden 1999 Antikörper gegen das Virus bei aus Guangdong (Südchina) importierten Gänsen nachgewiesen. In Guangdong war bereits 1996 der Influenza A-Erreger H5N1 erstmalig bei Gänsen gefunden worden (Xu, Subbarao, Cox & Guo, 1999). Im Februar des Jahres 2001 wurde H5N1 in Geflügelkotproben nachgewiesen, ohne dass es zu Krankheitsausbrüchen bei Geflügel gekommen war.

## *Beginn der Ausbreitung in Südostasien*

Im Januar 2003 erkrankten zwei Mitglieder einer Familie, die aus China eingereist war, an einer Infektion mit dem Influenza A-Erreger H5N1. Eine Person verstarb in Hongkong an der Infektion. Ein weiteres Familienmitglied war bereits in China an einer nicht näher diagnostizierten respiratorischen Erkrankung verstorben. Bei diesen Fällen wurde eine direkte Verbindung zu einem Ausbruch von H5N1-Infektionen bei Geflügel nicht gefunden (Peiris et al., 2004).

Ende 2003 begann in Thailand und Vietnam die erste von drei Erkrankungswellen. Im Zeitraum von Dezember 2003 bis März 2004 wurden in diesen Ländern 35 menschliche Erkrankungen durch den aviären Influenza-Typ H5N1 labordiagnostisch bestätigt, 24 Erkrankungsfälle endeten letal. Es folgte eine zweite Welle von Juli bis Oktober 2004, die erneut Thailand und Vietnam betraf, mit neun Erkrankten, von denen acht verstarben. Die dritte Welle begann im Dezember 2004. Sie hält bis heute an.

### *Ansteigende Letalität*

1997 lag die Letalität der Erkrankung in Hongkong bei 33 Prozent, für den Zeitraum Dezember 2003 bis September 2005 betrug sie 52 Prozent (114 Erkrankte, davon 59 Todesfälle). Da die Fallzahlen inzwischen nicht mehr auf einzelne Wellen, sondern auf Kalenderjahre bezogen werden, zeigt die Abbildung die Letalität in den einzelnen Jahren.

Die Fallzahlen sind zu gering, um eine Erhöhung der Pathogenität des Erregers von 1997 bis heute zu bestätigen, doch gibt es Daten aus Tierversuchen, die einen Anstieg der Pathogenität beim Vergleich eines Influenza A-H5N1-Stammes von 1997 mit einem Stamm von 2004 für Nager zeigen (Maines et al., 2005). Inzwischen werden labordiagnostisch gesicherte menschliche Fälle aus Vietnam, Thailand, Kambodscha, Indonesien, China, Türkei, Aserbaidshan, Dschibuti, Irak und Ägypten gemeldet (Stand 13.11.06). Von der WHO werden 258 Krankheitsfälle bestätigt, von denen 153 zum Tode führten, so dass die Letalität zur Zeit 59 Prozent beträgt (WHO cumulative number of confirmed human cases of avian influenza A(H5/N1) reported to WHO [web page] (Abb. 84).

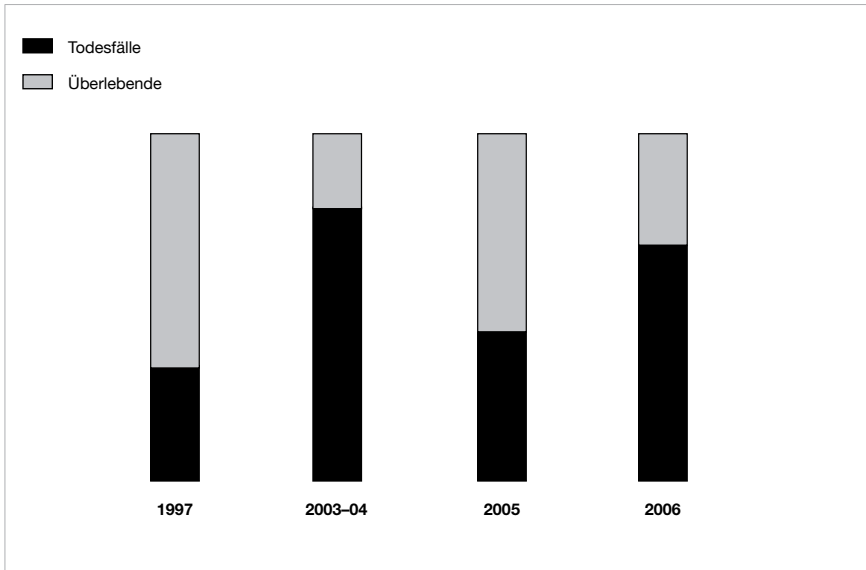


Abb. 84: Verhältnis Todesfälle zu Überlebenden

## Erkrankung

### *Der erste Patient*

Am 10. Mai 1997 wurde in Hongkong ein bis dahin gesunder dreijähriger Junge mit 40° C Fieber und Bauchschmerzen einem praktischen Arzt vorgestellt. Vom Arzt wurden Antibiotika und ein fiebersenkendes Arzneimittel verschrieben. Die Krankheitssymptome hielten an, so dass das Kind am 13. Mai ins Krankenhaus aufgenommen wurde. Bei der Untersuchung fanden sich eine Halsentzündung und entzündliche Veränderungen der Bronchien. Die Zahl der weißen Blutkörperchen war vermindert. Mit weiterhin schweren Bauchschmerzen wurde der Junge drei Tage später in ein anderes Krankenhaus auf eine Kinderintensivstation verlegt. Im Aufnahmebefund werden eine nässende Halsentzündung und Fieber bei einem schwer kranken, aber wachen Kind beschrieben. Die Zahl der weißen Blutkörperchen hatte sich weiter vermindert. Werte, die auf einen Leberschaden hinweisen, waren angestiegen.



In der darauf folgenden Nacht wurde das Kind unruhig und verwirrt. Die Versorgung des Blutes mit Sauerstoff wurde trotz zusätzlicher Sauerstoffgabe schlechter, so dass das Kind intubiert und beatmet werden musste. Im Röntgenbild der Lunge zeigte sich eine schwere Pneumonie. Die weißen Blutkörperchen waren weiterhin erniedrigt und die Leberwerte deutlich angestiegen. Als Diagnose wurde eine schwere Sepsis unbekannter Ursache mit Lungenversagen gestellt. Im weiteren Verlauf kam es zu Nierenversagen, Leberversagen und einem Versagen der Blutgerinnung. Trotz intensiver medizinischer Therapie wie Hochfrequenzbeatmung, Dialyse, Bluttransfusionen und der Gabe von Gammaglobulinen und Surfactant verstarb der Junge elf Tage nach der ersten Arztvorstellung am 21. Mai 1997.

In einer Blutprobe vom 18. Mai wurde ein erhöhter Influenza A-Titer gefunden, ein Befund, der zeigt, dass sich der Körper mit diesem Virus auseinandergesetzt hat. Im August wurde schließlich in einem am 18. Mai gewonnenen Rachenabstrich des Patienten das bereits vorher nachgewiesene atypische Influenza A-Virus als Subtyp H5N1 identifiziert.

Nach dem Tod des Patienten wurden keine Autopsie des gesamten Körpers, sondern nur Biopsien einzelner Organe vorgenommen. Hier fanden sich allgemeine Gewebeschädigungen, die für eine Virusinfektion typisch sind, aber keine Einschlüsse von Viruspartikeln. Der Nachweis von Viruspartikeln wäre ein Beweis für eine Virusvermehrung außerhalb der normalerweise betroffenen Atemwege gewesen. Trotzdem wurde damals schon die Annahme gemacht, dass sich die Infektion mit diesem Influenza A-Virus nicht auf die Atemwege beschränkt, sondern auch in anderen Organsystemen wie Leber und Gehirn eine Virusvermehrung stattfindet (Ku & Chan, 1999b; Ku & Chan, 1999a).

### *Krankheitssymptome*

Da sich mit dem auslösenden Influenza A-Virus H5N1 auch das Bild der Erkrankung seit den ersten Infektionen in Hongkong gewandelt hat, basieren die Beschreibungen des aktuellen Krankheitsbildes nur auf den vorliegenden Fallberichten seit Ende 2003 (Apisarnthanarak et al., 2004; Chokephaibulkit et al., 2005; Chotpitayasunondh et al., 2005; de Jong et al., 2005; Tran et al., 2004; Ungchusak et al., 2005) (Abb. 85).

### ***Inkubationszeit***

Die Inkubationszeit vom Kontakt zu erkranktem oder gestorbenem Geflügel bis zum Auftreten der ersten Symptome liegt bei durchschnittlich vier Tagen. Die mögliche Spannbreite bewegt sich zwischen zwei und acht, eventuell sogar siebzehn Tagen.

### ***Erstsymptom***

Das erste Symptom ist Fieber, meist zusammen mit oder gefolgt von respiratorischen Symptomen wie Husten und in allen beschriebenen Fällen Atemnot. Dies ist als Zeichen einer frühen und ausgeprägten Mitbeteiligung der tieferen Lungenabschnitte zu werten.

### ***Weitere Symptome***

Magen-/Darm-Beschwerden wie Übelkeit, Erbrechen und Durchfall sind häufig und waren in einigen Fällen zusammen mit Fieber die einzigen Hinweise auf eine schwere Erkrankung. Zur für Influenza typischen Atemwegsbeteiligung kam es erst in einer sehr späten Phase der Krankheit.

Hals-, Kopf- und Muskelschmerzen, die fast jede „reguläre“ Influenza durch humane Influenzaviren kennzeichnen, werden nur selten angegeben.

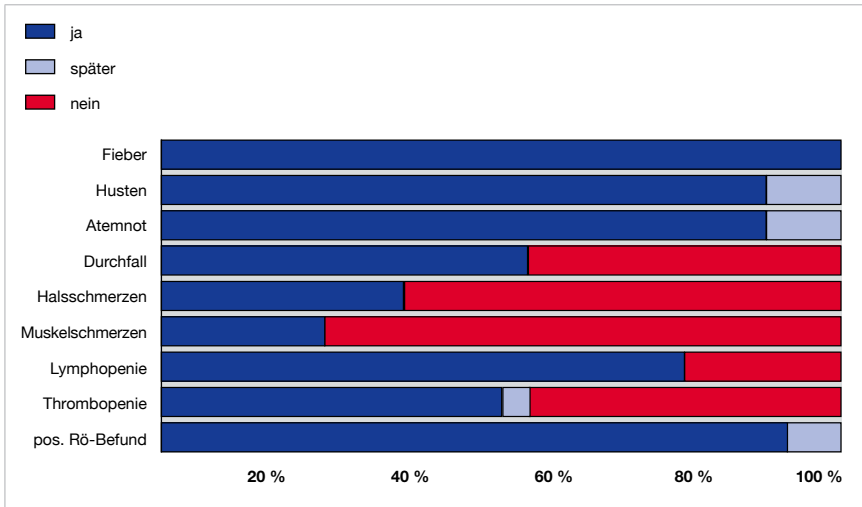


Abb. 85: Häufigkeit einzelner Symptome bei Aufnahme ins Krankenhaus

### ***Komplikationen***

Die häufigste und schwerste Komplikation der Erkrankung ist eine virale Lungenentzündung. Es kommt zu einem direkten Befall des Lungengewebes durch Influenzaviren. Vermutlich aufgrund einer überschießenden Reaktion des Immunsystems führt dies zu einem Gewebeschaden, der den Gasaustausch in der Lunge behindert. In der Folge versagt die Funktion der Lunge, was trotz Beatmungstherapie die Ursache für die hohe Sterblichkeit der Erkrankung ist.

Eine bakterielle Sekundärinfektion der Lunge, wie sie häufig als Komplikation einer humanen Influenza beobachtet wird, tritt nicht auf. Möglicherweise wird dies durch die Antibiotikatherapie verhindert, die die Patienten aufgrund ihrer schweren Atemwegserkrankung meist schon frühzeitig erhalten.

## *Untersuchungsbefunde*

Die frühe und ausgeprägte Beteiligung der Atemwege spiegelt sich wieder in den Röntgenaufnahmen der Lunge. Auf den Röntgenbildern zeigen sich schon früh und in fast allen Fällen Hinweise auf schwerwiegende Schädigungen der Lunge durch die Infektion.

Im Blut ist die Anzahl der Blutplättchen (Thrombozyten) und der weißen Blutkörperchen (Leukozyten) häufig vermindert. Es gibt Hinweise darauf, dass die Tiefe des Abfalls dieser Blutbestandteile mit dem tödlichen Ausgang der Erkrankung korreliert.

## **Übertragbarkeit**

### *Allgemeines*

Das aviäre Influenzavirus H5N1 ist ein hauptsächlich für Zuchtgeflügel extrem ansteckender und tödlicher Erreger. Eine Übertragung auf den Menschen ist ein Ausnahmeeignis, das in fast allen beschriebenen Fällen auf einen sehr engen und längeren Kontakt mit erkranktem Geflügel zurückzuführen ist. Wenn es aber zur Übertragung auf den Menschen gekommen ist, führt dies meist zu einer schweren Erkrankung, die sehr häufig tödlich endet. Eine Anpassung des Virus an den Menschen im Sinne einer besseren Übertragbarkeit ist ein wesentlicher Schlüssel für den Beginn einer Influenzapandemie. Kenntnisse über die genauen Mechanismen der Übertragbarkeit und die Orte auf dem Erbgut des Virus, die für die Übertragbarkeit verantwortlich sind, ermöglichen bessere Vorhersagen, wann sich das Virus so verändert hat, dass es eine Pandemie auslösen könnte.

### *Zahlen zur Antikörperbildung*

Nach den ersten menschlichen Fällen von aviärer Influenza in Hongkong wurde festgestellt, dass die Durchseuchung mit dem verursachenden Virus H5N1 bei Hühnern zwanzig Prozent beträgt. Daher wurden Arbeiter vom Staat angestellt, um sämtliches Geflügel in Hongkong zu töten. Unmittelbar darauf wurde eine Studie gestartet, bei der sowohl Arbeiter auf Geflügelfarmen als auch

die zur Tötung des Geflügels angestellten Personen auf Ansteckung mit H5N1 untersucht wurden. Die Arbeiter wurden zu Krankheitssymptomen befragt und ihr Blut auf Antikörper gegen H5N1 untersucht. Zur Antikörperbildung kommt es, wenn Erreger in den Körper eindringen können. Es muss dadurch aber nicht unbedingt zu einer Erkrankung kommen.

Im Blut der 1525 getesteten Arbeiter von Geflügelfarmen fanden sich in zehn Prozent der Proben Antikörper gegen H5N1. Bei den Arbeitern, die nur zur Tötung der Hühner angestellt worden waren, wurden in drei Prozent der Proben Antikörper gefunden (von 293). Ein direkter Zusammenhang mit einer in der fraglichen Zeit aufgetretenen Erkältungskrankheit konnte bei den Personen, die Antikörper gebildet hatten, nicht gezeigt werden. Das bedeutet, dass es keine sicheren Zeichen einer Influenza-Erkrankung bei den Personen gab, die auf Grund der Antikörperbildung nachweislich mit dem Virus konfrontiert waren. Die hohe Rate von Antikörpern im Blut der Arbeiter von Geflügelfarmen im Vergleich zu den Arbeitern, die nur kurzfristig zur Tötung des Geflügels angestellt waren, erklärt man sich über den langfristigen Kontakt der Geflügelarbeiter mit virushaltigem Material, dem sie im Gegensatz zu den kurzfristig Angestellten ohne Barrieren wie Atemschutz, Handschuhen oder Schutzanzügen ausgesetzt waren (Bridges et al., 2002).

In anderen Studien wurde die Antikörperrate bei Pflegekräften im Krankenhaus untersucht. Pflegekräfte, die Erkrankte mit aviärer Influenza versorgt hatten, wiesen eine positive Antikörperrate von 3,7 Prozent (von 217) auf, Pflegekräfte, die diese Erkrankten nicht versorgt hatten, eine Rate von 0,7 Prozent (von 309) (Buxton et al., 2000).

Bei Haushaltskontakten von erkrankten Personen betrug die Rate zwölf Prozent (von 51 Personen). Hierbei ist aber nicht zu unterscheiden, ob die Ansteckung über eine erkrankte Person oder über einen gemeinsamen Kontakt zu infiziertem Geflügel zustande kam (Katz et al., 1999). Diese Zahlen zeigen, dass es bei engem Kontakt zu Virusmaterial relativ häufig zu einer Übertragung des Hongkonger H5N1-Virus auf den Menschen gekommen ist, diese Übertragung aber in keinem gesicherten Fall zu einer Erkrankung geführt hat. Es ist hier jedoch nur die Übertragung des Hongkonger Stammes von H5N1 auf den Menschen untersucht worden. Da sich das Virus zwischenzeitlich sehr gewandelt hat, sind diese Ergebnisse nur mit großer Vorsicht auf die aktuellen Stämme zu projizieren.

## **Rezeptoren**

Ein wesentlicher Grund für die schlechte Übertragbarkeit der aviären Influenza auf den Menschen sind die Rezeptoren, an die die Viren im Epithel der Lunge andocken müssen, um die Zellen zu infizieren. Die humanen Influenzaviren haben speziell an menschlichen Verhältnisse angepasste Rezeptoren, während die aviären Influenzaviren sich auf Strukturen spezialisiert haben, die bei den Vögeln vorherrschen. Es handelt sich jedoch nicht um ein absolutes Fehlen der Rezeptoren bei der anderen Spezies, sondern nur um ein mengenmäßiges Überwiegen des passenden Rezeptors. Außerdem befinden sich die für H5N1 passenden Rezeptoren beim Menschen hauptsächlich in den für das Virus schlechter erreichbaren tiefen Atemwegen. Aus diesem Grund kommt es vermutlich nur gelegentlich und bei Konfrontation mit großen Virusmengen zu einer Infektion beim Menschen.

Bei Untersuchungen an menschlichen Zellkulturen wurde festgestellt, dass auch, wenn es zur Anheftung des aviären Influenzavirus am menschlichen Epithel kommt, die Virusvermehrung nur verlangsamt abläuft. Die Ursache dafür ist bisher nicht bekannt.

Auf Grund des dargestellten Mechanismus birgt eine Anpassung des Virus an die beim Menschen in den oberen Luftwegen vorherrschenden Rezeptortypen die große Gefahr, dass sich die Übertragbarkeit des Virus auf den Menschen deutlich verbessert (Matrosovich, Matrosovich, Gray, Roberts & Klenk, 2004; Uiprasertkul et al., 2005).

## **Therapie**

### ***Antivirale Arzneimittel***

Zur ursächlichen Therapie der Influenza eignen sich grundsätzlich Virusstatika, die die Vermehrung der Viren in der befallenen Zelle blockieren und Neuraminidasehemmer, die das Ausschleusen der neu gebildeten Viren aus der befallenen Zelle verhindern. Als Virusstatika wirkt Amantadin, das auch zur Therapie anderer Erkrankungen eingesetzt wird. Da die aktuellen Stämme von H5N1 jedoch resistent gegen diese Substanz sind, besitzt es zurzeit keinen therapeutischen Nutzen.

## ***Neuraminidasehemmer***

Die beiden zugelassenen Neuraminidasehemmer Zanamivir (Relenza®) und Oseltamivir (Tamiflu®) sind beide zur Therapie und zur Prophylaxe der Influenza geeignet. Sie verkürzen die Krankheitsdauer um ca. einen Tag und verhindern bei der prophylaktischen Anwendung innerhalb der Familie in siebzig bis neunzig Prozent eine Ansteckung, wenn ein Familienmitglied erkrankt ist.

Zanamivir ist ein Pulver, das inhaliert werden muss. Es wirkt lokal in der Lunge und den Atemwegen. Daher gelangt es kaum in den Blutkreislauf und hat entsprechend fast keine Nebenwirkungen. Wenn die Erkrankung aber schon fortgeschritten ist und sich die Viren auch außerhalb der Atemwege vermehren, werden diese Orte von der Substanz nicht erreicht. Oseltamivir wird als Kapsel oder Pulver eingenommen, im Magen-/Darmtrakt ins Blut aufgenommen und im Körper verteilt. Daher führt die Einnahme häufiger zu Nebenwirkungen, aber die Substanz wirkt auch, wenn sich die Vermehrung der Viren außerhalb der Atemwege abspielt.

### ***Wirksamkeit bei Influenza durch H5N1***

An Zellkulturen wurde gezeigt, dass Zanamivir und Oseltamivir gegen alle Untergruppen der Influenzaviren wirksam sind. Am Menschen wurden die Substanzen aber nur bei Erkrankten getestet, die an einer Infektion durch die „regulären“ an den Menschen angepassten Influenzaviren litten.

Auf Grund der Schwere und des häufig tödlichen Ausgangs der Erkrankungen durch H5N1 sind in diesem Fall weniger eine Verkürzung der Krankheitsdauer, sondern eher die Erhöhung der Überlebensrate Ziele einer Therapie mit Neuraminidasehemmern. Da bisher keine kontrollierten Studien zu Wirksamkeit beim Menschen durchgeführt werden konnten, muss man sich bei der Beurteilung auf Anwendungsbeobachtungen beschränken. Diese geben Hinweise darauf, dass Oseltamivir als hauptsächlich verabreichte Substanz die Überlebenswahrscheinlichkeit erhöht, zumindest, wenn es rechtzeitig innerhalb der empfohlenen 48 Stunden verabreicht werden konnte (Abb. 86). Sichere Daten existieren nur aus Tierstudien. Fünfzig Prozent der Mäuse, die 24 Stunden nach experimenteller Infektion mit H5N1 Oseltamivir erhalten hatten, überlebten (Stamm Vietnam 2004). Im Vergleich dazu starben alle Mäuse, die keine

Therapie erhalten hatten (Leneva, Roberts, Govorkova, Goloubeva & Webster, 2000; Yen, Monto, Webster & Govorkova, 2005).

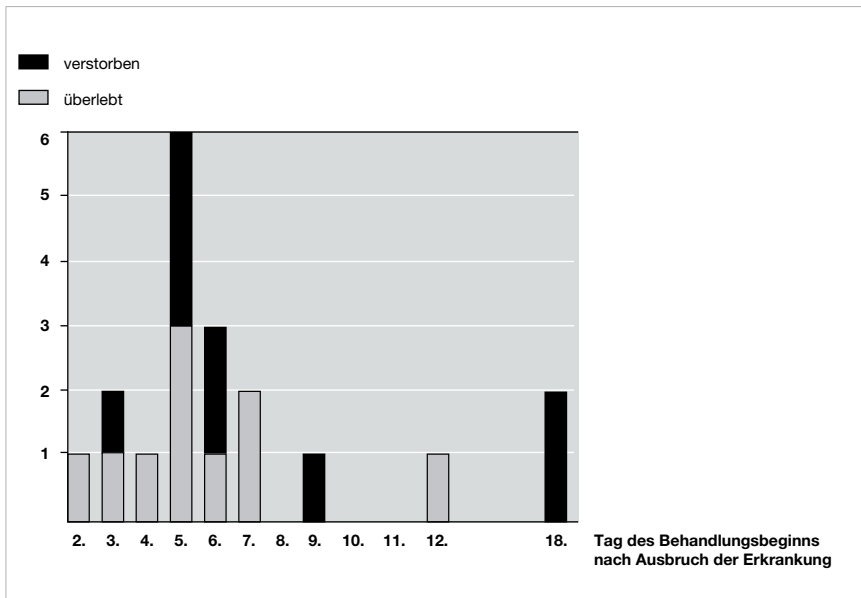


Abb. 86: Zusammenstellung der dokumentierten mit Oseltamivir behandelten Fälle (aus: Outbreak news, 2006; Chotpitayasunondh et al., 2005; Ungehusak et al., 2005)



## Literaturhinweise

Isolation of avian influenza A(H5N1) viruses from humans--Hong Kong, May-December 1997 (1998). *JAMA.*, 279, 263-264.

Outbreak news. Chikungunya, India (2006). *Wkly.Epidemiol.Rec.*, 81, 409–410.

APISARNTHANARAK, A., KITPHATI, R., THONGPHUBETH, K., PATOOMANUNT, P., ANTHANONT, P., AUWANIT, W., et al. (2004). Atypical avian influenza (H5N1). *Emerg. Infect.Dis.*, 10, 1321-1324.

BRIDGES, C. B., LIM, W., HU-PRIMMER, J., SIMS, L., FUKUDA, K., MAK, K. H., et al. (2002). Risk of influenza A (H5N1) infection among poultry workers, Hong Kong, 1997-1998. *J.Infect.Dis.*, 185, 1005-1010.

BUXTON, B. C., KATZ, J. M., SETO, W. H., CHAN, P. K., TSANG, D., HO, W., et al. (2000). Risk of influenza A (H5N1) infection among health care workers exposed to patients with influenza A (H5N1), Hong Kong. *J.Infect.Dis.*, 181, 344-348.

CHOKEPHAIBULKIT, K., UIPRASERTKUL, M., PUTHAVATHANA, P., CHEARSKUL, P., AUEWARAKUL, P., DOWELL, S. F., et al. (2005). A child with avian influenza A (H5N1) infection. *Pediatr.Infect.Dis.J.*, 24, 162-166.

CHOTPITAYASUNONDH, T., UNGCHUSAK, K., HANSHAOWORAKUL, W., CHUNSUTHIWAT, S., SAWANPANYALERT, P., KIJPHATI, R., et al. (2005). Human disease from influenza A (H5N1), Thailand, 2004. *Emerg.Infect.Dis.*, 11, 201-209.

DE JONG, M.D., BACH, V. C., PHAN, T. Q., VO, M. H., TRAN, T. T., Nguyen, B. H., et al. (2005). Fatal avian influenza A (H5N1) in a child presenting with diarrhea followed by coma. *N.Engl.J.Med.*, 352, 686-691.

KATZ, J. M., LIM, W., BRIDGES, C. B., ROWE, T., HU-PRIMMER, J., LU, X., et al. (1999). Antibody response in individuals infected with avian influenza A (H5N1) viruses and detection of anti-H5 antibody among household and social contacts. *J.Infect.Dis.*, 180, 1763-1770.

KU, A. S. & CHAN, L. T. (1999a). The first case of H5N1 avian influenza infection in a human with complications of adult respiratory distress syndrome and Reye's syndrome. *J.Paediatr.Child Health.*, 35, 207-209.

KU, A. S. & CHAN, L. T. (1999b). The first case of H5N1 avian influenza infection in a human with complications of adult respiratory distress syndrome and Reye's syndrome. *J.Paediatr.Child Health.*, 35, 207 – 209.

LENEVA, I. A., ROBERTS, N., GOVORKOVA, E. A., GOLOUBEVA, O. G. & WEBSTER, R. G. (2000). „The neuraminidase inhibitor GS4104 (oseltamivir phosphate) is efficacious against A/Hong Kong/156/97 (H5N1) and A/Hong Kong/1074/99 (H9N2) influenza viruses.“ *Antiviral Res.*, 48, 101 – 115.

MAINES, T. R., LU, X. H., ERB, S. M., EDWARDS, L., GUARNER, J., GREER, P. W., et al. (2005). „Avian influenza (H5N1) viruses isolated from humans in Asia in 2004 exhibit increased virulence in mammals.“ *J.Virol.*, 79, 11788 – 11800.

MATROSOVICH, M. N., MATROSOVICH, T. Y., GRAY, T., ROBERTS, N. A. & KLENK, H. D. (2004). Human and avian influenza viruses target different cell types in cultures of human airway epithelium. *Proc.Natl.Acad.Sci.U.S.A.*, 101, 4620-4624.

PEIRIS, J. S., YU, W. C., LEUNG, C. W., CHEUNG, C. Y., NG, W. F., NICHOLLS, J. M., et al. (2004). „Re-emergence of fatal human influenza A subtype H5N1 disease.“ *LANCAO* |, 363, 617 – 619.

TRAN, T. H., NGUYEN, T. L., NGUYEN, T. D., LUONG, T. S., PHAM, P. M., NGUYEN, V. C., et al. (2004). „Avian influenza A (H5N1) in 10 patients in Vietnam.“ *N.Engl.J.Med.*, 350, 1179 – 1188.

UIPRASERTKUL, M., PUTHAVATHANA, P., SANGSIRIWUT, K., POORUK, P., SRISOOK, K., PEIRIS, M., et al. (2005). „Influenza A H5N1 replication sites in humans.“ *Emerg. Infect.Dis.*, 11, 1036 – 1041.

UNGCHUSAK, K., AUEWARAKUL, P., DOWELL, S. F., KITPHATI, R., AUWANIT, W., PUTHAVATHANA, P., et al. (2005). „Probable person-to-person transmission of avian influenza A (H5N1).“ *N.Engl.J.Med.*, 352, 333 – 340.

XU, X., SUBBARAO, COX, N. J. & GUO, Y. (1999). Genetic characterization of the pathogenic influenza A/Goose/Guangdong/1/96 (H5N1) virus: similarity of its hemagglutinin gene to those of H5N1 viruses from the 1997 outbreaks in Hong Kong. *Virology.*, 261, 15–19.

YEN, H. L., MONTO, A. S., WEBSTER, R. G. & GOVORKOVA, E. A. (2005). Virulence may determine the necessary duration and dosage of oseltamivir treatment for highly pathogenic A/Vietnam/1203/04 influenza virus in mice. *J.Infect.Dis.*, 192, 665–672.

YUEN, K. Y., CHAN, P. K., PEIRIS, M., TSANG, D. N., QUE, T. L., SHORTRIDGE, K. F., et al. (1998). Clinical features and rapid viral diagnosis of human disease associated with avian influenza A H5N1 virus. *LANCAO I*, 351, 467–471.



# **Anhang**

**Abbildungen, Tabellen  
und Übersichten**

**Abkürzungen**

**Autoren**

**Bisherige Publikationen**



# Abbildungen, Tabellen und Übersichten

<b>Abb. 1:</b> Organigramm des BBK	26	<b>Abb. 9:</b> Maßnahmen und Entscheidungen beim Umgang mit einem Verdachts- fall	110
<b>Abb. 2:</b> Prinzip B-Aufklärung –schematisch	42	<b>Abb. 10:</b> Schwitzbilanz im Feldanzug und im mittleren Chemikalienschutzanzug während des Klimakammeraufent- halts	175
<b>Abb. 3:</b> Organisationsempfehlung	56	<b>Abb. 11:</b> Beispiel einer PSA	183
<b>Abb. 4:</b> Aufbau des Kompetenz- und Behand- lungszentrums für Hessen und Rhein- land-Pfalz	73	<b>Abb. 12:</b> Arbeiten unter intensivmedizinischen Bedingungen	187
<b>Abb. 5:</b> Regionale Verteilung der Kompe- tenz- und Behandlungszentren in Deutschland	74	<b>Abb. 13:</b> Endotracheale Intubation in PSA	187
<b>Abb. 6:</b> Behandlungszentren in Deutschland, Europa und USA	75	<b>Abb. 14:</b> Genormtes Piktogramm	190
<b>Abb. 7:</b> Ablauf einer Diagnostik aus Umwelt- probe und Klinischer Probe	98	<b>Abb. 15:</b> Schutzhandschuhe	191
<b>Abb. 8:</b> Einrichtung und Organisation einer Impfstätte	106	<b>Abb. 16:</b> Gebläsegestützter Atemschutz	193

- Abb. 17:**  
Partikelgrößenverteilung NaCl-Aerosol erzeugt durch Zerstäubung einer 1%-igen NaCl Lösung bei 3,45 bar 200
- Abb. 18:**  
Fraktionsabscheidegrad E und Fraktionsdurchlassgrad P eines Hochleistungs-Schwabstofffiltermediums als Funktion des Partikeldurchmessers  $d_p$  für zwei verschiedene Filtermediumgeschwindigkeiten (Beispiel) 202
- Abb. 19:**  
Prüfaerosol: NaCl 205
- Abb. 20:**  
Prüfungsergebnisse in Anlehnung an EN 149:2001 206
- Abb. 21:**  
Prüfungsergebnisse in Anlehnung an EN 149:2001 207
- Abb. 22:**  
Prüfungsergebnisse in Anlehnung an EN 149:2001 209
- Abb. 23:**  
Prüfungsergebnisse in Anlehnung an EN 149:2001 210
- Abb. 24:**  
Beispiel zur Gliederung und Aufgabenverteilung am Dekon-Platz 236
- Abb. 25:**  
Behelfs-Dekontamination mit Löschfahrzeugen 239
- Abb. 26:**  
Zusammensetzung verschiedener Peressigsäureprodukte 250
- Abb. 27 und Abb. 28:**  
Desinfektion einer Sicherheitswerkbank der Klasse 2 durch Verdampfung von Formaldehyd-Lösung 256
- Abb. 29:**  
VHP-Generator 257
- Abb. 30 und Abb. 31:**  
Thermoaerosol-Desinfektion mit Heißnebelgerät 258
- Abb. 32:**  
Ausbringung eines Desinfektionsmittels als Schaum 258
- Abb. 33:**  
Freie Sporen von *Bacillus anthracis* 264
- Abb. 34:**  
Wirkung von Fixationsmittel für die EM auf *B. anthracis*-Sporen in Suspensionsversuchen bei 20° C 268



<b>Abb. 35:</b> Wirksamkeit von PES in wässrigen Lösungen auf Milzbrandsporen in Abhängigkeit von Konzentration und Einwirkzeit im Suspensionsversuch 270	<b>Abb. 44:</b> Dekontamination eines liegenden Pa- tienten 286
<b>Abb. 36:</b> Wirksamkeit von PES in alkoholischen Lösungen auf Milzbrandsporen in Abhängigkeit von Konzentration und Einwirkzeit im Suspensionsversuch 271	<b>Abb. 45:</b> Kontaminationsnachweis „gehender Patient“ 286
<b>Abb. 37:</b> Wirksamkeit von wässrigen und alko- holischen PES-Lösung auf <i>B. anthra-</i> <i>cis</i> -Sporen im Keimträgerversuch 273	<b>Abb. 46:</b> Dekontamination eines liegenden Pa- tienten 286
<b>Abb. 38:</b> Dekon-Triage 283	<b>Abb. 47:</b> Bereichseinteilung einer Einsatzstelle mit „Gefährlichen Stoffen“ 287
<b>Abb. 39:</b> Entfernung der Kleidung vor Triagie- rung 284	<b>Abb. 48:</b> Gesamtüberblick „Konzept bis 50 kontaminierte Verletzte“ 288
<b>Abb. 40:</b> Triage-Gruppe I/II – Zeit 284	<b>Abb. 49:</b> Einsatzstelle 289
<b>Abb. 41:</b> Spotdekontamination 285	<b>Abb. 50:</b> Gesamtstärke „Dekon-Verletzte“ 291
<b>Abb. 42:</b> Medizinische Erstversorgung 285	<b>Abb. 51:</b> Gesamtstärke „Dekon-Verletzte“ Fernmeldestruktur 292
<b>Abb. 43:</b> Dekontaminationzelt „liegend“ 285	<b>Abb. 52:</b> Konzept: 5 bis 20 kontaminierte Ver- letzte 293
	<b>Abb. 53:</b> Übersicht Dekonkonzepte 297

- Abb. 54:**  
Einlegen des Verstorbenen in die (innere) graue Leichenhülle 306
- Abb. 55:**  
Flugtruhe mit Zinkeinsatz 313
- Abb. 56:**  
Nachweis von Viren und Sporen in der Elektronenmikroskopie. Links: negativkontrastierte Orthopocken-Viren, rechts: Sporen von *Bacillus anthracis* in Negativkontrastierung. 356
- Abb. 57:**  
EM-Differenzierung von Herpesviren (linkes Bild), Orthopockenviren (Mitte) und Parapockenviren (rechts); EM-Aufnahme von negativ kontrastierten Viruspartikeln. 357
- Abb. 58:**  
EM-Aufnahmen von Orthopocken. A: Negativkontrastierung, B: Ultradünnschnitt-Präparat (Positivkontrastierung) von infizierten Zellen. 373
- Abb. 59:**  
Schematische Darstellung einiger Real-Time-PCR-Formate 391
- Abb. 60:**  
Schmelzkurvenanalyse zur Genotypisierung mit Hybridisierungssonden 392
- Abb. 61:**  
Amplifikationskurven effizienter und ineffizienter PCR-Systeme 393
- Abb. 62:**  
ABICAP<sup>®</sup> (Antibody Immuno Column for Analytical Processes) 402
- Abb. 63:**  
Vorteile der ABICAP<sup>®</sup>-Technologie 402
- Abb. 64:**  
*F.tularensis* ABICAP<sup>®</sup>-/ cELISA-Standardkurven 403
- Abb. 65:**  
*F.tularensis* ABICAP<sup>®</sup>-Einfluss des Probenvolumens 404
- Abb. 66:**  
*F.tularensis* ABICAP<sup>®</sup>-/cELISA-Kotproben aus Deutschland und einem Tularämie-Ausbruchs im Kosovo 405
- Abb. 67:**  
Antigen-Verdünnungskurven des EBOV ABICAP<sup>®</sup> 406
- Abb. 68:**  
Validierung des EBOV ABICAP<sup>®</sup> mit Serumproben aus Deutschland 406
- Abb. 69:**  
Validierung des EBOV ABICAP<sup>®</sup> mit Serumproben aus Afrika 407

**Abb. 70 und Abb. 71:**

Trennung der magnetischen Partikel  
aus der Reaktionsflüssigkeit 410

**Abb. 72:**

BioVeris-M-Series-M1M-Analyzer 412

**Abb. 73 und Abb. 74:**

Lyophilisierte Testkits für den BioVeris-M-Series-M1M-Analyzer 412

**Abb. 75:**

Schematische Darstellung eines Lateral Flow Assays 421

**Abb. 76:**

Kommerzielle Lateral Flow Assays zum Nachweis von Botulinum-Neurotoxinen 423

**Abb. 77:**

Untere Nachweisgrenze der Lateral Flow Assays für gereinigtes BoNT/A, BoNT/A-Komplex und BoNT/A-Kulturüberstand 424

**Abb. 78:**

Spezifität und Sensitivität der Lateral Flow Assays bei der Untersuchung von toxischen Kulturüberständen und Kulturmedium (RCM) 426

**Abb. 79:**

Kreuzreaktives Verhalten und Effekte ausgesuchter Matrizen mit dem Bio Threat Alert<sup>TM</sup>-Test (BSA = bovines Serumalbumin) 427

**Abb. 80:**

BWAAW-System: Kontinuierlich arbeitendes Bioaerosol-Warnsystem der Deutschen Marine 434

**Abb. 81:**

BAWS-System: Aerosol-Warnsystem, bestehend aus mehreren autonomen Einzeldetektoren (Bild) und einem zentralen Steuerrechner zur großräumigen Überwachung und Absicherung von kritischer Infrastruktur 435

**Abb. 82:**

PCR-System: Geräte dieses Typs sind seit Januar 2002 bei Einheiten der Deutschen Marine zur B-Kampfstoffidentifizierung im Einsatz 437

**Abb. 83:**

Schematischer Aufbau von Influenza A-Viren 446

**Abb. 84:**

Verhältnis Todesfälle zu Überlebenden 462

**Abb. 85:**

Häufigkeit einzelner Symptome bei Aufnahme ins Krankenhaus 465

**Abb. 86:**

Zusammenstellung der dokumentierten mit Oseltamivir behandelten Fälle 470

<b>Tab. 1:</b> Importierte (Verdachts-)Fälle mit hochinfektiösen, lebensbedrohlichen Erkrankungen der letzten 10 Jahre in Europa	72	<b>Tab. 10:</b> Klassifikation – Widerstand gegen Bakterien	164
<b>Tab. 2:</b> Rahmenkonzept des Phasenmodells	95	<b>Tab. 11:</b> Klassifizierung – Widerstand gegen Bio-Aerosole	164
<b>Tab. 3:</b> Situativer Kontext	119	<b>Tab. 12:</b> Klassifizierung – Widerstand gegen kontaminierten Staub	165
<b>Tab. 4:</b> Erregereigenschaften und Epidemiologie	120	<b>Tab. 13:</b> IP-Norm von Gehäusen	194
<b>Tab. 5:</b> Multidimensionales Assessment biologischer Lagen	122	<b>Tab. 14:</b> Bioterroristisch relevante bakterielle Erreger	263
<b>Tab. 6:</b> Übertragene Tierkrankheiten	156	<b>Tab. 15:</b> Eine Lösung der PES in 80 Prozent ETOH verkürzte die Abtötungszeit und beschleunigte die Reduktion des Ethanols	272
<b>Tab. 7:</b> Biologische Gefahren am Arbeitsplatz	158	<b>Tab. 16:</b> Massenanfall von Verletzten nach dem Sarin-Giftgasanschlag in Tokio: St. Luke`s Hospital (600 Betten)	278
<b>Tab. 8:</b> Norm zur Definition der biologischen Barriere von Schutzbekleidung	162	<b>Tab. 17:</b> Sekundärkontamination von Einsatzkräften nach dem Nervenkampfstoff Sarin in Tokio: St. Luke`s Hospital (600 Betten)	279
<b>Tab. 9:</b> Klassifizierung – Penetration künstliches Blut	163		

<b>Tab. 18:</b> Anthrax-Sporen	326	<b>Tab. 26:</b> Epidemiologische Hinweise auf bioterroristische Anschläge	354
<b>Tab. 19:</b> Tenazität von Viren in Abhängigkeit von der Virusstruktur.	335	<b>Tab. 27:</b> Wirtsspektrum von Orthopockenviren	358
<b>Tab. 20:</b> Struktur von bioterrorrelevanten Viren	335	<b>Tab. 28:</b> Vergleich unterschiedlicher Detektionsmethoden für Rizin.	367
<b>Tab. 21:</b> Wirksamkeit von Alkoholen für Virusinaktivierung	339	<b>Tab. 29:</b> Übersicht der Lateral Flow Assays zum Nachweis von Botulinum-Neurotoxinen	422
<b>Tab. 22:</b> Abnahme der Infektiosität	340	<b>Tab. 30:</b> Influenza A-Subtypen	448
<b>Tab. 23:</b> Kritische Biologische Agenzien (Kategorie A)	350	<b>Tab. 31:</b> Inaktivierung von Influenzaviren mit Alkohol	452
<b>Tab. 24:</b> Kritische Biologische Agenzien (Kategorie B)	351	<b>Tab. 32:</b> Überblick über Influenza-Schnellteste zum Nachweis von Influenza A- und B-Viren, die in Deutschland erhältlich sind und NR Influenza evaluiert wurden	456
<b>Tab. 25:</b> Kritische Biologische Agenzien (Kategorie C)	351		

<b>Übersicht 1:</b>		<b>Übersicht 6:</b>	
Infektionskrankheiten	81	Übersicht der Lernabschnitte in der standardisierten ABC-Grundausbildung	219
<b>Übersicht 2:</b>		<b>Übersicht 7:</b>	
Mögliche Infektionsorte	87	Themenkatalog Persönliche Schutzausstattung	220
<b>Übersicht 3:</b>		<b>Übersicht 8:</b>	
Forderungen an die Airlines und Behörden	88	Themenkatalog Praktischer Umgang mit der PSA	221
<b>Übersicht 4:</b>		<b>Übersicht 9:</b>	
Passagierlisten	89	Umsetzungsmodell ABC-Grundausbildung	224
<b>Übersicht 5:</b>			
Übersicht Testprodukte	204		

# Abkürzungen

## **3D**

dreidimensional

## **ABC-Abwehr**

Atomare, Biologische und Chemische Abwehr

## **ABC-ErkKW**

Erkundungsfahrzeuge der Atomaren, Biologischen und Chemischen Abwehr

## **AKNZ**

Akademie für Krisenmanagement, Notfallplanung und Zivilschutz

## **AOC**

Airline Operation Committee

## **BBK**

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe

## **BestV**

Bestattungsverordnung

## **BF**

Berufsfeuerwehr

## **BGA**

Bundesgesundheitsamt

## **BGIA**

Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz

## **BGR**

Berufsgenossenschaftliche Regeln

## **BioStoffV**

Biostoffverordnung

## **BKA**

Bundeskriminalamt

## **BLS**

Basic Life Support

## **BMG**

Bundesministerium für Gesundheit

## **BMI**

Bundesministerium des Innern

## **BMVg**

Bundesministerium für Verteidigung

## **BNI**

Bernhard-Nocht-Institut

## **BRK**

Bayerisches Rotes Kreuz

**BoNT**

Botulinum-Neurotoxin

**BOS**

Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben

**BSeuchG**

Bundesseuchengesetz

**BSA**

Bovines Rinderserumalbumin

**BSL 4**

Biosafety Level 4; Hochsicherheitslabor

**BT**

Bioterrorismus

**CDC**

Centers for Disease Control and Prevention

**cDNA**

copy DNA

**cfu**

Colonie Forming Unit

**CPE**

Cytopathic Effect; Zytopatischer Effekt

**CSA**

Chemikalienschutzanzug

**DAB**

Deutsches Arzneibuch

**Dekon-G**

Dekontamination von Geräten

**Dekon-P**

Dekontamination von Personal

**DEKON V**

Dekontamination Verletzter

**DLRG**

Deutsche Lebens-Rettungs-Gesellschaft e. V.

**DM**

Desinfektionsmittel

**DNA**

Desoxyribonucleic Acid /  
Desoxyribonukleinsäure

**DRK**

Deutsches Rotes Kreuz

**DWT**

Deutsche Gesellschaft für Wehrtechnik

**EA**

Einsatzabschnitt

**EAL**

Einsatzabschnittsleiter

**EboV**

Ebolavirus



**ECDC**

European Center for Disease Control and Prevention

**ECLIA**

Elektrochemischer Lumineszenz-immunoassay

**EIA**

Enzymimmunoanalyse

**ELISA**

Enzyme-linked immunosorbent assay

**EM**

Elektronenmikroskopie

**ETIDE**

European Training for Infectious Disease Emergencies

**EUNID**

European Network of Infectious Diseases

**EQA**

Externe Qualitätssicherungsmaßnahmen

**EWZ**

Einwirkzeit

**FA**

Formaldehyd

**FDA**

Food and Drug Administration

**FFP**

Partikel filtrierende Halbmaske

**FIA**

zeitverzögerte Fluoreszenzimmunoanalyse

**FwDV**

Feuerwehr-Dienstvorschrift

**GA**

Gesundheitsamt

**GG**

Grundgesetz

**HA**

Hämagglutinin

**HEPA-Filter**

High Efficiency Particulate Air-Filter

**HF**

Hämorrhagisches Fieber

**HIV**

Humanes Immundefizienz-Virus

**HKLE**

Kompetenzzentrum für hochinfektiöse, lebensbedrohliche Erkrankungen in Hessen

**HPAI**

Highly Pathogenic Avian Influenza

**HRP**

Horseradish Peroxidase

**HuPF**

Herstellungs- und Prüfungs-  
beschreibung für eine universelle  
Feuerwehrsutzhkleidung

**ILAT**

Institut für Lebensmittelsicherheit,  
Arzneimittel und Tierseuchen

**ILI**

Influenza-like illness

**IfSG**

Infektionsschutzgesetz

**IR**

Infrarot

**KatS-DV 500**

Katastrophenschutz-Dienstvorschrift  
500

**KBE**

Kolonie bildende Einheit

**KdB**

Konzeption der Bundeswehr

**KOBAS**

Berufsgenossenschaftlicher Koordi-  
nierungskreis für biologische Arbeits-  
stoffe

**KMS**

Klinikum München-Schwabing

**KRINKO**

Kommission für Krankenhaushygiene  
und Infektionsprävention

**LD**

Letale Dosis

**LFA**

Lateral Flow Assay

**LKA**

Landeskriminalamt

**LPAI**

Low Pathogenic Avian Influenza

**LÜKEX**

Länder übergreifende Krisenmanage-  
mentübung

**LZ**

Lagezentrum

**mAK**

monoklonale Antikörper

**MANV**

Massenanfall von Verletzten

**MKS**

Maul- und Klauenseuche

**MNS**

Mund-Nasen-Schutz

**MSI**

mass sociogenic illness

**MVW**

Massenvernichtungswaffen

**NA**

Neuraminidase

**NAT**

Nukleinsäure-Amplifikations Test

**NIOSH**

National Institute for Occupational Safety and Health

**OD**

optische Dichte

**ÖGD**

Öffentlicher Gesundheitsdienst

**pAK**

polyklonale Antikörper

**PCR**

Polymerase Chain Reaction / Polymerasekettenreaktion

**PEI**

Paul-Ehrlich-Institut

**PG9**

Projektgruppe 9 „ABC-Risiken und Gefahrenlagen“

**PSA**

Persönliche Schutzausrüstung

**Rd**

Rettungsdienst

**RKI**

Robert Koch-Institut

**RNA**

Ribonukleinsäure

**RT-PCR**

Reverse Transkriptase-Polymerase-Kettenreaktion

**SARS**

Severe Acute Respiratory Syndrome

**SKUKdo**

Streitkräfteunterstützungskommando

**StAKoB**

Ständige Arbeitsgemeinschaft der Kompetenz- und Behandlungszentren

**StGB**

Strafgesetzbuch

**STIKO**

Ständige Impfkommision

**SEA**

Staphylococcus Enterotoxin A

**SEB**

Staphylococcus Enterotoxin B

**SKK**

Ständige Konferenz für Katastrophenvorsorge und Katastrophenschutz

**SOPs**

Standard Operation Procedures

**THW**

Technisches Hilfswerk

**TMB**

Tetramethyl Benzidine

**UV-APS**

Ultraviolet Aerodynamic Particle  
Sizer

**vfdb**

Vereinigung zur Förderung des  
Deutschen Brandschutzes

**VHP**

Vapourized Hydrogen Peroxide

**VPR**

Verteidigungspolitische Richtlinien

**WHO**

World Health Organization

**ZF/GF**

Zug- / Gruppenführer

**ZMZ/I**

Zivil-Militärische Zusammenarbeit  
im Inland

# Autoren

**Es handelt sich bei diesem Verzeichnis um die aktuelle Adressliste der Hauptautoren zum Zeitpunkt der Veröffentlichung.**

**Priv.-Doz. Dr. Norbert Bannert**

Robert Koch-Institut  
Nordufer 20  
13353 Berlin  
bannern@rki.de

**Dr. Anne Becker**

Robert Koch-Institut  
Nordufer 20  
13353 Berlin  
beckera@rki.de

**Dr. Walter Biederbick**

Bundesamt für Bevölkerungsschutz  
und Katastrophenhilfe  
Provinzialstraße 93  
53127 Bonn  
Walter.Biederbick@bbk.bund.de

**Dr. Andreas Bräutigam**

Landeshauptstadt Düsseldorf  
Feuerwehr, Rettungsdienst und  
Bevölkerungsschutz Düsseldorf  
Amt 37/52 – Feuerwehrschiele  
Hüttenstraße 68  
40215 Düsseldorf  
andreas.braeutigam@duesseldorf.de

**Albrecht Broemme**

Präsident  
Bundesanstalt Technisches Hilfswerk  
Provinzialstraße 93  
53127 Bonn  
Albrecht.Broemme@thw.de

**Nahid Derakshani**

Bundesamt für Bevölkerungsschutz  
und Katastrophenhilfe  
Provinzialstraße 93  
53127 Bonn  
Nahid.Derakshani@bbk.bund.de

**Dr. Dr. Petra Dickmann**

dickmann risk communication  
21 Lancaster Grove  
London NW 3 4 EX, United Kingdom  
pdickmann@dickmann-drc.com

**Prof. Dr. Wolf R. Dombrowsky**

Steinbeis Hochschule Berlin  
Gürtelstraße 27A/30  
10247 Berlin  
wdombro@msn.com

**Dr. Brigitte Dorner**

Robert Koch-Institut  
Nordufer 20  
13353 Berlin  
DornerB@rki.de

**Dr. Walter Gaber**

Fraport AG  
Medizinische Dienste  
60547 Frankfurt  
w.gaber@fraport.de

**PD Dr. Frank Gessler**

miprolab  
Gesellschaft für mikrobiologische  
Diagnostik mbH  
Marie-Curie-Straße 7  
37079 Göttingen  
gessler@miprolab.com

**Dr. Karl Jochen Glitz**

Zentrales Institut des Sanitäts-  
dienstes der Bundeswehr Koblenz  
Andernacher Straße 100  
56070 Koblenz  
KarlJochenGlitz@bundeswehr.org

**Prof. Dr. Dr. René Gottschalk**

Amt für Gesundheit  
Frankfurt am Main  
Breite Gasse 28  
60313 Frankfurt am Main  
rene.gottschalk@stadt-frankfurt.de

**Priv.-Doz. Dr. Roland Grunow**

Robert Koch-Institut  
Nordufer 20  
13353 Berlin  
grunowr@rki.de

**Dr. Wolfgang Guggemos**

Klinikum Schwabing  
Städtisches Klinikum München  
GmbH  
Kölner Platz 1  
80804 München  
Wolfgang.Guggemos@klinikum-  
muenchen.de

**Dr. Monika Hermann**

Bundesamt für Bevölkerungsschutz  
und Katastrophenhilfe  
Provinzialstraße 93  
53127 Bonn  
Monika.Hermann-Pietsch@  
bbk.bund.de

**Prof. Dr. Dr. Dieter Leyk**

Zentrales Institut des Sanitäts-  
dienstes der Bundeswehr Koblenz  
Andernacher Straße 100  
56070 Koblenz  
DieterLeyk@bundeswehr.org

Deutsche Sporthochschule Köln  
Institut für Physiologie und Anatomie  
Am Sportpark Müngersdorf 6  
50933 Köln  
leyk@dshs-koeln.de

**Dr. Willi Marzi**

Bundesministerium des Innern  
 Referat KM 2  
 Graurheindorfer Straße 198  
 53117 Bonn  
 willi.marzi@bmi.bund.de

**Dr. Wolfgang Müller**

Akademie für öffentliches  
 Gesundheitswesen  
 Kanzlerstraße 4  
 40472 Düsseldorf  
 mueller@akademie-oegw.de

**Dr. Herbert Nattermann**

Robert Koch-Institut  
 Nordufer 20  
 13353 Berlin  
 nattermannh@rki.de

**Dr. Bärbel Niederwöhrmeier**

Wehrwissenschaftliches Institut für  
 Schutztechnologien – ABC-Schutz  
 Postfach 1142  
 29623 Munster  
 baerbelniederwoehrmeier@bwb.org

**Dr. Andreas Nitsche**

Robert Koch-Institut  
 Nordufer 20  
 13353 Berlin  
 nitschea@rki.de

**Dr. Sibylle Pagel-Wieder**

miprolab  
 Gesellschaft für mikrobiologische  
 Diagnostik mbH  
 Marie-Curie-Straße 7  
 37079 Göttingen  
 pagel-wieder@miprolab.com

**Prof. Dr. Georg Pauli**

Robert-Koch-Institut  
 Nordufer 20  
 13353 Berlin  
 paulig@rki.de

**Dr. Bernhard Preuss**

Bundesamt für Bevölkerungsschutz  
 und Katastrophenhilfe  
 Provinzialstraße 93  
 53127 Bonn  
 Bernhard.Preuss@bbk.bund.de

**Dr. Klaus Riedmann**

Robert Koch-Institut  
 Nordufer 20  
 13353 Berlin  
 riedmannk@rki.de

**Alfred Riepertinger**

Med. Präparator  
 Institut für Pathologie  
 Klinikum Schwabing  
 Städtisches Klinikum München GmbH  
 Kölner Platz 1  
 80804 München  
 alfred.riedertinger@klinikum-  
 muenchen.de

**Dr. Heiko Russmann**

Wehrwissenschaftliches Institut für  
Schutztechnologien – ABC-Schutz  
Postfach 1142  
29623 Munster  
HeikoRussmann@bwb.org

**Dr. Julia Sasse**

Robert Koch-Institut  
Nordufer 20  
13353 Berlin  
sassej@rki.de

**Jürgen Schreiber**

Ständige Konferenz für Katastrophen-  
vorsorge und Bevölkerungsschutz  
PG 9: besondere Gefahrenlagen  
c/o Arbeiter-Samariter  
Bund Deutschland e.V.  
Sülzburgstraße 140  
50937 Köln  
jsc.schreiber@t-online.de

**Uwe Seibel**

Zentrales Institut des Sanitäts-  
dienstes der Bundeswehr Koblenz  
Andernacher Straße 100  
56070 Koblenz  
uweseibel@bundeswehr.org

**Rainer Steffens**

Onsdorfer Straße 25c  
54456 Tawern  
steffens.tawern@t-online.de

**Reinhard Steffler**

Stadt Leipzig  
Branddirektion  
Goedelerring 7  
04109 Leipzig  
reinhard.steffler@leipzig.de

**Christian Steiof**

Direktor des Landeskriminalamtes  
Berlin  
Platz der Luftbrücke 6  
12101 Berlin-Tempelhof  
christian.steiof@polizei.berlin.de

**Dipl.-Ing. Hans-Ulrich Tobys**

Institut für Arbeitsschutz (IFA)  
der Deutschen Gesetzlichen  
Unfallversicherung  
Fachbereich 3: Gefahrstoffe,  
Umgang-Schutzmaßnahmen  
Alte Heerstraße 111  
53757 Sankt Augustin  
hans-ulrich.tobys@dguv.de

**Dr. Christine Uhlenhaut**

FDA/CBER  
29 Lincoln Drive  
Bldg. 29A, 1C20  
Bethesda, MD 20892, USA  
c.uhlenhaut@gmx.net

**Christoph Unger**

Präsident  
Bundesamt für Bevölkerungsschutz  
und Katastrophenhilfe  
Provinzialstraße 93  
53127 Bonn  
Christoph.Unger@bbk.bund.de



**Hans-Peter Weinheimer**

Oberst a.D.  
Unter dem Klotenrech 5  
53347 Alfter  
w.p.weinheimer@t-online.de

**Dipl.-Ing. (FH) Rainer Wenke**

Leiter Werkfeuerwehr  
Robert Bosch GmbH  
Tübinger Straße 23  
72762 Reutlingen  
rainer.wenke@web.de

**Prof. Dr. Manfred Wildner (MPH)**

Bayerisches Landesamt für Gesundheit  
und Lebensmittelsicherheit (LGL)  
Veterinärstraße 2  
85764 Oberschleißheim  
manfred.wildner@lgl.bayern.de



# Bisherige Publikationen

Auf den folgenden Seiten finden Sie eine komplette Liste aller bisher erschienenen und teilweise bereits vergriffenen Bände der Veröffentlichungen, die vom Bundesamt für Zivilschutz, dem Bundesverwaltungsamt und dem Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, als jeweils zuständige Behörde für den Zivil- und Bevölkerungsschutz, herausgegeben wurden.

In der Liste „*Zivilschutz-Forschung, Alte Folge*“ wurden Forschungsergebnisse und andere Beiträge zum Zivilschutz bis 1988 veröffentlicht. Die Liste „*Zivilschutz-Forschung, Neue Folge*“ enthält die Veröffentlichungen zwischen 1990 und 2006. Seit 2007 werden Forschungsergebnisse des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe in der Schriftenreihe „*Forschung im Bevölkerungsschutz*“ veröffentlicht. Seit 2009 veröffentlicht die Schutzkommission beim Bundesministerium des Innern von ihr erstellte Empfehlungen, Aufsätze u.ä. in der eigenen Reihe „Schriften der Schutzkommission“. Der Download dieser Bände ist unter [www.schutzkommission.de](http://www.schutzkommission.de) möglich, die Printversion über das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe beziehbar.

Je nach Art und Umfang der Forschungsergebnisse findet lediglich eine *Internetveröffentlichung* statt. Zu speziellen, besonders interessanten Themen des Bevölkerungsschutzes werden gesonderte Publikationen herausgegeben, die Sie in der Liste *Sonderveröffentlichungen* finden können. Unter **[www.bbk.bund.de/Publikationen](http://www.bbk.bund.de/Publikationen)** finden Sie, zusätzlich zu den Internetveröffentlichungen, die meisten Bände als PDF zum Download und Hinweise zur Verfügbarkeit der Printversion. Die Printversion können Sie im Internet oder über die Adresse

**Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe,  
Postfach 18 67, 53008 Bonn,**

bestellen.

## Forschung im Bevölkerungsschutz

- 
- 1 **Netzwerk Psychosoziale Notfallversorgung – Umsetzungsrahmenpläne  
Band 1: Entwicklung | Datenbank | Task-Force | Finanzierung**  
*I. Beerlage, T. Hering, S. Springer, D. Arndt, L. Nörenberg / 2008 / Druckversion  
vergriffen*  
ISBN-13: 978-3-939347-02-6
- 
- 2 **Netzwerk Psychosoziale Notfallversorgung – Umsetzungsrahmenpläne  
Band 2: Qualität in Aus- und Fortbildung**  
*I. Beerlage, S. Springer, T. Hering, L. Nörenberg, D. Arndt / 2008*  
ISBN-13: 978-3-939347-03-3
- 
- 3 **Netzwerk Psychosoziale Notfallversorgung – Umsetzungsrahmenpläne  
Band 3: Belastungen und Belastungsfolgen in der Bundespolizei**  
*I. Beerlage, D. Arndt, T. Hering, L. Nörenberg, S. Springer / 2009*  
ISBN-13: 978-3-939347-04-0
- 
- 4 **Vulnerabilität Kritischer Infrastrukturen**  
*S. Lenz (Dipl.-Geogr., M.Sc.) / 2009 / Druckversion vergriffen*  
ISBN-13: 978-3-939347-11-8
- 
- 5 **Empfehlungen für die Probenahme zur Gefahrenabwehr im Bevölkerungsschutz  
Zur Analytik von chemischen, biologischen und radioaktiven Kontaminationen**  
*U. Bachmann, W. Biederbick, N. Derakshani, M. Drobig, J.-T. Eisheh, M. König, R. Maier,  
J. Mentfewitz, B. Niederwörhmer, H. Prast, D. Sebastian, G. Uelpenich, M. Vidmayer,  
S. Wilbert, M. Wolf / 2010*  
ISBN-13: 978-3-939347-15-6
- 
- 6 **Proceedings: Biologische Gefahren in Deutschland  
Kongressbericht der GERMAN BIOSAFETY 2005**  
ISBN-13: 978-3-939347-05-7
- 
- 7 **Städtebauliche Gefährdungsanalyse – Abschlussbericht**  
*B. Brombacher, C. Brand, J. Frick, Chr. Mayrhofer, M. Voss, S. Sutter*  
ISBN-13: 978-3-939347-08-8
- 
- 8 **Sekundäre Prävention einsatzbedingter Belastungsreaktionen und -störungen**  
*Willi Butollo, Regina Karl, Marion Krüsmann*  
ISBN-13: 978-3-939347-09-5

- 9 **Dekontamination von Verletzten im Krankenhaus bei ABC-Gefahrenlagen**  
*F. Martens / 2009*  
 ISBN-13: 978-3-939347-20-0
- 
- 10 **Entwicklung eines zeitgemäßen ABC-Selbsthilfe-Sets für den Katastrophenschutz**  
*M. Müller, K. Schmiechen / 2009*  
 ISBN-13: 978-3-939347-20-4
- 
- 11 **Bevölkerungsverhalten und Möglichkeiten des Krisenmanagements und Katastrophenmanagements in multikulturellen Gesellschaften**  
*E. Geenen / 2010*  
 ISBN-13: 978-3-939347-26-2
- 
- 12 **Vulnerabilität der Kritischen Infrastruktur Wasserversorgung gegenüber Naturkatastrophen**  
*A. Braubach / 2011*  
 ISBN-13: 978-3-939347-30-9
- 
- 13 **Indikatoren zur Abschätzung von Vulnerabilität und Bewältigungspotenzialen am Beispiel von wasserbezogenen Naturgefahren in urbanen Räumen**  
*J. Birkmann, S. Krings, M. Vollmer, J. Wolfertz, T. Welle, W. Kühling, K. Meisel, M. Wurm, H. Taubenböck, M. Gähler, H. Zwenzner, A. Roth, S. Voigt, S. Dech / 2011*  
 ISBN-13: 978-3-939347-31-6

## Schriften der Schutzkommission

- 1 **Gefahren und Warnung**  
 1. Konsensus-Konferenz zum Prozedere beim Massenansturm von Verletzten und Erkrankten mit der Notwendigkeit überregionaler Unterstützung (Ü-MANV) | 2. Gefahrenpotentiale von chemischen Kampfstoffen und toxischen Industriechemikalien – das Punktesystem | 3. Warnung der Bevölkerung  
*J. Weidinger, W. Weiss, P. Seffrin, J. Barbid, N. Engelhard, S. Grigoleit, H. John, J. Schulze, E. M. Geenen / 2009*  
 ISBN-13: 987-3-939347-11-9
- 
- 2 **Qualitätssicherung in der Psychosozialen Notfallversorgung Band 2: Deutsche Kontroversen – Internationale Leitlinien**  
*I. Beerlage / 2009 / Druckversion vergriffen*  
 ISBN-13: 978-3-939347-21-7

- 3 Empfehlungen zur Verbesserung des medizinischen Bevölkerungsschutzes**  
1. Gesundheitlicher Bevölkerungsschutz in Deutschland | 2. Gutachten zu Stand und Handlungsbedarf im medizinischen C-Schutz | 3. Konzept zur katastrophenmedizinischen Ausbildung im studentischen Unterricht an deutschen Hochschulen  
ISBN-13: 978-3-939347-27-9
- 
- 4 4. Gefahrenbericht**  
Schutzkommission beim Bundesministerium des Innern / 2011  
ISBN-13: 978-3-939347-35-4

## **Zivilschutzforschung, Neue Folge**

ISSN 0343-5164

- 
- 59 3. Gefahrenbericht**  
*Schutzkommission beim Bundesminister des Innern/2006*
- 
- 58 Infrarot-Fernerkundungssystem für die chemische Gefahrenabwehr**  
*R. Harig, G. Matz, P. Rusch / 2006 / Druckversion vergriffen*
- 
- 57 Entwicklung von Standards und Empfehlungen für ein Netzwerk zur bundesweiten Strukturierung und Organisation psychosozialer Notfallversorgung**  
*I. Beerlage, T. Hering, L. Nörenberg et al. / 2006 / Druckversion vergriffen*
- 
- 56 Aufbau und Ablauf der Dekontamination und Notfallversorgung Verletzter bei Zwischenfällen mit chemischen Gefahrstoffen**  
*B. Domres, A. Manger, S. Brockmann, R. Wenke / 2005 / Druckversion vergriffen*
- 
- 55 51. und 52. Jahrestagung der Schutzkommission beim Bundesministerium des Innern**  
*Vorträge / 2005 / Druckversion vergriffen*
- 
- 54 Untersuchung zur Einbindung des Öffentlichen Gesundheitsdienstes in die katastrophenmedizinische Versorgung in der Bundesrepublik Deutschland**  
*E. Pfenninger, S. Himmelseher, S. König / 2005 / Druckversion vergriffen*
- 
- 53 Schwachstellenanalyse aus Anlass der Havarie der PALLAS**  
*L. Clausen / 2003 / Druckversion vergriffen*

- 
- 52 **49. u. 50. Jahrestagung der Schutzkommission beim Bundesminister des Innern**  
*Vorträge / 2003 / Druckversion vergriffen*
- 
- 51 **Erstellung eines Schutzdatenatlases**  
*W.R. Dombrowsky, J. Horenczuk, W. Streitz / 2003 / Druckversion vergriffen*
- 
- 50 **Entgiftung von Organophosphaten durch Phosphorylphosphatasen und Ethanolamin**  
*R. Zech / 2001*
- 
- 49 **Task-Force für Schnellanalytik bei großen Chemieunfällen und Bränden**  
*G. Matz, A. Schillings, P. Rechenbach / 2003 / Druckversion vergriffen*
- 
- 48 **2. Gefahrenbericht**  
*Schutzkommission beim Bundesminister des Innern / 2001 / Druckversion vergriffen*
- 
- 47 **Organisation der Ernährungsnotfallvorsorge (ENV)**  
*J. Rasche, A. Schmidt, S. Schneider, S. Waldmann / 2001 / Druckversion vergriffen*
- 
- 46 **Methoden der Bergung Verschütteter aus zerstörten Gebäuden**  
*F. Gehbauer, S. Hirschberger, M. Markus / 2001 / Druckversion vergriffen*
- 
- 45 **Technologische Möglichkeiten einer möglichst frühzeitigen Warnung der Bevölkerung – Kurzfassung**  
**Technological Options for an Early Alert of the Population – Short Version**  
*V. Held / 2001 / Druckversion vergriffen*
- 
- 44 **Medizinische Versorgung beim Massenanfall Verletzter bei Chemikalienfreisetzung**  
*E. Pfenninger, D. Hauber / 2001 / Druckversion vergriffen*
- 
- 43 **Empirisch-psychologische Analyse des menschlichen Fehlverhaltens in Gefahrensituationen und seine verursachenden und modifizierenden Bedingungen sowie von Möglichkeiten zur Reduktion des Fehlverhaltens**  
*D. Ungerer, U. Morgenroth / 2001 / Druckversion vergriffen*
- 
- 42 **45., 46. und 48. Jahrestagung der Schutzkommission beim Bundesminister des Innern**  
*Vorträge / 2000 / Druckversion vergriffen*

- 
- 41 **Einfluß von Zytokinen und Lipidmediatoren auf die Kontrolle und Regulation spezifischer Infektabwehr bei Brandverletzung**  
*W. König, A. Drynda, B. König, R. Arnold, P. Wachtler, M. Köller / 2001 / Druckversion vergriffen*
- 
- 40 **Entwicklung von Dekontaminationsmitteln und -verfahren bei Austritt von Industriechemikalien**  
*F. Schuppe / 2001 / Druckversion vergriffen*
- 
- 39 **Optimierung des Schutzes vor luftgetragenen Schadstoffen in Wohngebäuden**  
*TÜV Energie und Umwelt GmbH / 2001 / Druckversion vergriffen*
- 
- 38 **Rechnergestütztes Beratungssystem für das Krisenmanagement bei chemischen Unfällen (DISMA®)**  
*W. Kaiser, M. Schindler / 1999 / Druckversion vergriffen / Druckversion vergriffen*
- 
- 36 **Biologische Indikatoren für die Beurteilung multifaktorieller Beanspruchung**  
Experimentelle, klinische und systemtechnische Untersuchung  
*M. Weiss, B. Fischer, U. Plappert, T.M. Fliedner / 1998 / Druckversion vergriffen*
- 
- 35 **Praxisanforderung an Atem- und Körperschutzausstattung zur Bekämpfung von Chemieunfällen**  
*K. Amman, A.-N. Kausch, A. Pasternack, J. Schlobohm, G. Bresser, P. Eulenburg / 2003 / Druckversion vergriffen*
- 
- 34 **Untersuchung der Wirksamkeit von Selbstschutzausstattung bei Chemieunfällen**  
*S. Bulheller, W. Heudorfer / 2003 / Druckversion vergriffen*
- 
- 33 **Laserspektrometrischer Nachweis von Strontiumnukliden im Niederschlag**  
*J. Bernhardt, J. Haus, G. Hermann, G. Lasnitschka, G. Mahr, A. Scharmann / 1998*
- 
- 32 **Kriterien für Evakuierungsempfehlungen bei Chemikalienfreisetzungen**  
*G. Müller / 1998 / Druckversion vergriffen*
- 
- 31 **Beiträge zur Isolierung und Identifizierung von Clostridium sp. und Bacillus sp. sowie zum Nachweis deren Toxine**  
*G. Schallehn, H. Brandis / 1998 / Druckversion vergriffen*



- 30 **Untersuchung der Praxisanforderungen an die Analytik bei der Bekämpfung großer Chemieunfälle**  
*G. Matz / 1998 / Druckversion vergriffen*
- 
- 29 **Erfahrungen aus Abwehrmaßnahmen bei chemischen Unfällen**  
*D. Hesel, H. Kopp, U. Roller / 1997 / Druckversion vergriffen*
- 
- 28 **Wirkungen von Organophosphaten**  
*R. Zech / 1997*
- 
- 27 **Staatliche Risikokommunikation bei Katastrophen**  
Informationspolitik und Akzeptanz  
*G. Ruhmann, M. Kohring / 1996 / Druckversion vergriffen*
- 
- 26 **43. und 44. Jahrestagung der Schutzkommission beim Bundesminister des Innern**  
*Vorträge / 1997 / Druckversion vergriffen*
- 
- 25 **Abschätzung der gesundheitlichen Folgen von Großbränden**  
Literaturstudie Teilbereich Toxikologie  
*K. Buff, H. Greim / 1997 / Druckversion vergriffen*
- 
- 24 **42. Jahrestagung der Schutzkommission beim Bundesminister des Innern**  
*Vorträge / 1996 / Druckversion vergriffen*
- 
- 23 **Das Verhalten von Umweltchemikalien in Boden und Grundwasser**  
*K. Haberer, U. Böttcher / 1996 / Druckversion vergriffen*
- 
- 22 **Inkorporationsverminderung für radioaktive Stoffe im Katastrophenfall**  
*B. Gloebel, Ch. Graf / 1996 / Druckversion vergriffen*

- 21 **Arbeiten aus dem Fachausschuß III: Strahlenwirkungen – Diagnostik und Therapie**  
**I. Ganzkörpermessungen reiner  $\beta$ -Strahler**  
**II. Untersuchungen zur therapeutischen Beeinflussung des Strahlenschadens durch Biological Response Modifier**  
**III. Prophylaxe und Therapie von Strahlenschäden im Katastrophenfall**  
**IV. Interstitielle Pneumonie nach Ganzkörperbestrahlung**  
**V. Modellversuch zur Therapie von Strahlen- und Kombinationsschäden**  
*I. R.E. Grillmaier, M. Thieme*  
*II. P.G. Munder, M. Modolell, F. Link, R. Escher*  
*III. W. Pohlitz, Bhavanath Jha, M. Jülch*  
*IV. K. Quabeck, D.W. Beelen, R. Ehrlich, U.W. Schaefer, F. Wendt*  
*V. O. Messerschmidt, A. Bitter, F. Eitel / 1996 / Druckversion vergriffen*
- 
- 20 **Arbeiten aus dem Fachausschuß V:**  
**I. Langzeitwirkungen phosphor-organischer Verbindungen**  
**II. Die zellvermittelte typübergreifende Immunantwort nach Infektion mit dem Influenzavirus**  
**III. Die Bedeutung vasculärer Reaktionen beim akuten Nierenversagen nach großen Weichteilverletzungen (Crush-Niere)**  
*I. D. Henschler*  
*II. H. Becht*  
*III. F. Hoffmann, F. Vetterlein, G. Schmidt / 1996 / Druckversion vergriffen*
- 
- 19 **Radioaktive Strahlungen**  
**I. Nuklidspezifische Kontaminationserfassung**  
**II. Datenaufbereitung für den Notfallschutz**  
*I. B. Kromer unter Mitarbeit von K.O. Münnich, W. Weiss u. M. Zähringer*  
*II. G. Hehn / 1996 / Druckversion vergriffen*
- 
- 18 **Deutsche Regelsysteme:**  
**Vernetzungen und Integrationsdefizite bei der Erstellung des öffentlichen Gutes Zivil- und Katastrophenschutz in Europa**  
*L. Clausen, W.R. Dombrowsky, R.L.F. Strangmeier / 1996 / Druckversion vergriffen*
- 
- 17 **41. Jahrestagung der Schutzkommission beim Bundesminister des Innern**  
Vorträge / 1996 / Druckversion vergriffen
- 
- 16 **Einfluß von Lipidmediatoren auf die Pathophysiologie der Verbrennungskrankheit**  
*F.E. Müller, W. König, M. Köller / 1993 / Druckversion vergriffen*

- 
- 15 **Beiträge zur dezentralen Trinkwasserversorgung in Notfällen. Teil II**  
**1. Einfache organische Analysemethoden**  
**2. Einfache Aufbereitungsverfahren**  
*K. Haberer, M. Drews / 1993 / Druckversion vergriffen*
- 
- 14 **Beiträge zu Strahlenschäden und Strahlenkrankheiten**  
**I. Strahleninduzierte Veränderungen an Säugetierzellen als Basis für die somatischen Strahlenschäden**  
**II. Hämpooseschaden, Therapieeffekte und Erholung**  
**III. Präklinische Untersuchung zur Beschleunigung der Erholungsvorgänge in der Blutzellenbildung nach Strahleneinwirkung durch Beeinflussung von Regulationsmechanismen**  
**IV. Radionuklid Transfer**  
*I. H. Schüßler*  
*II. K.H. von Wangenheim, H.-P. Peterson, L.E. Feinendegen*  
*III. T.M. Fliedner, W. Nothdurft*  
*IV. G.B. Gerber / 1993 / Druckversion vergriffen*
- 
- 13 **Modifikation der Strahlenwirkung und ihre Folgen für die Leber**  
*H. Mönig, W. Oehlert, M. Oehlert, G. Konermann / 1993*
- 
- 12 **Biologische Dosimetrie**  
**I. Einleitung: Dosisabschätzung mit Hilfe der Biologischen Dosimetrie**  
**II. Ermittlung der Strahlenexposition aus Messungen an Retikulozyten**  
**III. Strahlenbedingte Änderung der Chemielumineszenz von Granulozyten als biologischer Dosisindikator**  
**IV. Zellmembranänderungen als biologische Dosisindikatoren. Strahleninduzierte Membranänderung im subletalen Bereich, Immunbindungsreaktionen an Lymphozyten**  
*I. H. Mönig, W. Pohlitz, E.L. Sattler*  
*II. H.J. Egner et al.*  
*III. H. Mönig, G. Konermann*  
*IV. P. Bidon et al. / 1993 / Druckversion vergriffen*
- 
- 11 **Beiträge zur Katastrophenmedizin**  
*H. Finger, K. Schmidt, H.W. Jaroni, R. Prinzing, L. Schweiberer, C. Waydhas, D. Nast-Kolb, M. Jochum, K.-H. Duswald, H. Fritz, M. Siebeck, H. Weis / 1993 / Druckversion vergriffen*
- 
- 10 **Bürgerkonzeptionierter Zivil- und Katastrophenschutz – Das Konzept einer Planungszelle Zivil- und Katastrophenschutz**  
*W. R. Dombrowsky / 1992 / Druckversion vergriffen*

- 9 **39. und 40. Jahrestagung der Schutzkommission beim Bundesminister des Innern**  
*Vorträge / 1993 / Druckversion vergriffen*
- 
- 8 **Beiträge zur dezentralen Trinkwasserversorgung in Notfällen, Teil I  
Einfach anorganische und radiologische Methoden zur Wasseruntersuchung an Ort und Stelle**  
*K. Haberer, U. Stürzer / 1991 / Druckversion vergriffen*
- 
- 7 **Das Schädel-Hirn-Trauma  
Klinische und tierexperimentelle Untersuchungen zur Pathogenese und neuen  
Behandlungsansätzen im Rahmen der Katastrophenmedizin**  
*E. Pfenninger, F. W. Ahnefeld / 1991 / Druckversion vergriffen*
- 
- 6 **Neutronenschäden  
Untersuchungen zur Pathophysiologie, Diagnostik, Prophylaxe und Therapie**  
*O. Messerschmidt, A. Bitter / 1991 / Druckversion vergriffen*
- 
- 5 **Strahlenexposition durch Ingestion von radioaktiv kontaminiertem Trinkwasser**  
*R. E. Grillmaier, F. Kettenbaum / 1991 / Druckversion vergriffen*
- 
- 4 **Computereinsatz im Zivil- und Katastrophenschutz – Möglichkeiten und Grenzen**  
*W. R. Dombrowsky / 1991 / Druckversion vergriffen*
- 
- 3 **Der Nachweis schneller Neutronen in der Katastrophendosimetrie mit Hilfe von  
Ausweisen aus Plastikmaterial**  
*B. Lommler, E. Pitt, A. Scharmann, R. Simmer / 1990 / Druckversion vergriffen*
- 
- 2 **Gammastrahlung aus radioaktivem Niederschlag / Berechnung von Schutzfaktoren**  
*G. Hehn / 1990 / Druckversion vergriffen*
- 
- 1 **Zur Akzeptanz staatlicher Informationspolitik bei technischen Großunfällen und  
Katastrophen**  
*L. Clausen, W. R. Dombrowsky / 1990 / Druckversion vergriffen*

## Zivilschutzforschung, Alte Folge

- 
- 22 **Organophosphate Biochemie-Toxikologie-Therapie**  
G. Schmidt, R. Zech et al. / 1988 / Druckversion vergriffen
- 
- 21 **Arbeiten aus dem Fachausschuss II: Radioaktive Niederschläge**  
1988 / Druckversion vergriffen
- 
- 20 **Beiträge zur Katastrophenmedizin**  
1988 / Druckversion vergriffen
- 
- 19 **Beiträge zur Wirkung von Kernwaffen**  
A. Sittkus, G. Hehn, H. Mönig / 1989 / Druckversion vergriffen
- 
- 18 **Forschungen für den Zivil- und Katastrophenschutz 1975 – 1985, Festschrift für Paul Wilhelm Kolb**  
1986 / ISBN 3-7894-0097-1 / Druckversion vergriffen
- 
- 17 **Chemischer Strahlenschutz**  
H. Mönig, O. Messerschmidt, C. Streffer / 1984 / ISBN 3-7894-0096-3 / Druckversion vergriffen
- 
- 16 **Streß und Individuum**  
M. Ackenheil, M. Albus, R.R. Engel, H. Hippus / 1984 / ISBN 3-7894-0092-0 / Druckversion vergriffen
- 15 **Ulmer Vorträge, Festschrift für Franz Gross**  
1983 / ISBN 3-7894-0091-2 / Druckversion vergriffen
- 
- 14 **Einführung in die Soziologie der Katastrophen**  
L. Clausen, W. R. Dombrowsky / 1983 / ISBN 3-7894-0090-4 / Druckversion vergriffen
- 
- 13 **30 Jahre Schutzkommission – Ausgewählte Vorträge**  
1981 / ISBN 3-7894-0084-1 / Druckversion vergriffen
- 
- 12 **Untersuchungen zum Strahlenrisiko**  
H. Schüssler, H. Pauly, B. Glöbel, H. Glöbel, H. Muth, E. Oberhausen / 1981 / ISBN 3-7894-0083-2 / Druckversion vergriffen

- 
- 11 **Brandgefährdung von Wohngebieten durch Flächenbrände**  
*O. Carlowitz, T. Krone, R. Jeschar* / 1980 / ISBN 3-7894-0079-3 /  
Druckversion vergriffen
- 
- 10 **Wirkungen des Luftstoßes von nuklearen und konventionellen Explosionen**  
*G. Weigel* / 1980 / ISBN 3-7894-0078-5 / Druckversion vergriffen
- 
- 9 **Veränderung von Befinden und Leistung bei einem Bunkerbelegungsversuch**  
*J. F. Dirr, J. Kugler, M. C. Laub, K. Schröder* / 1979 / ISBN 3-7894-0062-9 /  
Druckversion vergriffen
- 
- 8 **Beiträge zur Neutronenwaffe**  
*A. Sittkus, H. Mönig* / 1978 / ISBN 3-7894-0061-0 / Druckversion vergriffen
- 
- 7 **Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesbeton aus dem Wassereindringverhalten**  
*J. Steinert* / 1977 / ISBN 3-7894-0056-4 / Druckversion vergriffen
- 
- 6 **Literaturübersicht zur Frage der Erholung nach Ganzkörperbestrahlung**  
*A. Kindt, E.-L. Sattler* / 1977 / ISBN 3-7894-0058-0 / Druckversion vergriffen
- 
- 5 **Kombinationsschäden als Folge nuklearer Explosionen**  
*O. Messerschmidt* / 1977 / ISBN 3-7894-0055-6 / Druckversion vergriffen
- 
- 4 **Untersuchungen zu Therapie und Prognose des Kreislaufschocks beim Menschen**  
*H. Schönborn* / 1976 / ISBN 3-7894-0048-3 / Druckversion vergriffen
- 
- 3 **Strahlenempfindlichkeit und die akute und chronische Strahlenschädigung der Leber**  
*R. Lesch* / 1976 / ISBN 3-7894-0048-3 / Druckversion vergriffen
- 
- 2 **Beiträge zur Frage der Erholung von Strahlenschäden**  
*H. Muth, H. Pauly* / 1975 / ISBN 3-7894-0039-4 / Druckversion vergriffen
- 
- 1 **Schutzkommission beim Bundesminister des Innern  
25 Jahre Forschung für den Zivil- und Katastrophenschutz**  
1975 / ISBN 3-7894-0038-6 / Druckversion vergriffen

## Sonderveröffentlichungen

---

**Biologische Gefahren – Beiträge zum Bevölkerungsschutz, 2. Auflage**

2005 / ISBN 3-00-016733-1 / Druckversion vergriffen

---

**Biologische Gefahren I – Handbuch zum Bevölkerungsschutz, 3. vollständig überarbeitete Auflage**

2007 / ISBN 3-939347-06-X bzw. 978-3-939347-06-4

---

**Biologische Gefahren II – Entscheidungshilfen zur medizinisch angemessenen Vorgehensweisen in der B-Gefahrenlage**

2007 / ISBN 3-939347-07-8 bzw. 978-3-939347-07-1

---

**Notfall- und Katastrophenpharmazie I – Bevölkerungsschutz und Medizinische Notfallversorgung**

2009 / ISBN 978-3-939347-18-7

---

**Notfall- und Katastrophenpharmazie II – Pharmazeutisches Notfallmanagement**

2009 / ISBN 978-3-939347-19-4

---

**Katastrophenmedizin – Leitfaden für die ärztliche Versorgung im Katastrophenfall (mit CD und Checkliste)**

2010 / ISBN 3-939347-01-9 25-5

## Internetveröffentlichungen

---

[www.bbk.bund.de/Publikationen](http://www.bbk.bund.de/Publikationen)

---

**Entwicklung von Therapieschemata für die Behandlung des akuten Nierenversagens (Crush-Niere)**

*F. Vetterlein, G. Hellige / 2005*







