

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 Sporen bildendes, 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 (LD₅₀) von etwa 8.000 Sporen ausgegangen. Die letale Dosis (LD₅₀) 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 Sprühdichte, 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 dispergierten Partikel. Die besprühten Gebiete zeigten eine Aerosolkonzentration von etwas 245 CFU/m³ (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 LD₅₀ von *Bacillus anthracis* mit etwa 8.000 Sporen eine LD₁₄₋₁₉ 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 LD₅₀ von 0,001 µg/kg Körpergewicht (bzw. LD₅₀ 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 Agenzien 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.