

BOTULINUMTOXIKOSEN – INFEKTIONSRISEN FÜR MENSCH UND TIER

(unter besonderer Berücksichtigung von Schwein bzw. Rind)

BOTULINUMTOXIKOSEN

Der Begriff „Botulinumtoxikosen“ umfasst Erkrankungen, die durch Stoffwechselprodukte von Clostridien (Botulinumtoxin) verursacht werden.

Clostridien sind anaerobe Bakterien, die ursprünglich den Boden als Habitat haben, aber auch im Meeresschlick, im Intestinaltrakt von Mensch und Tier, auf und in Insekten, Würmern, aber auch in und auf Pflanzen vorkommen können.

Viele Clostridien sind weitverbreitet, sie können regional unterschiedlich (geospezifisch) vorkommen und in bestimmten Gebieten zur normalen Bodenflora gehören. Sie können unter besonderen Lebensbedingungen Überlebensformen (Sporen) bilden, die viele Jahre (Jahrzehnte, Jahrhunderte) lebensfähig bleiben. Durch weltweiten Handel mit Tieren, Tierprodukten, Pflanzen und Pflanzenprodukten, durch Tourismus, durch Staubstürme können Clostridien weit verbreitet werden. Es ist nicht ungewöhnlich, dass plötzlich neue Erreger in Gegenden auftreten, in denen sie zuvor unbekannt waren.

In diesem Beitrag soll besonders *Clostridium (C.) botulinum* besprochen werden. Ursprünglich war die Spezies *C. botulinum* dadurch gekennzeichnet, dass ihre Mitglieder Stoffwechselprodukte gebildet haben, die als stärkste biologische Giftstoffe (Botulinumtoxin) gelten (10.000-fach stärkere toxische Wirkung als Zyankali). Nunmehr gibt es *C. botulinum*-Stämme, die apathogen sind und andere Clostridienspezies, bei denen einzelne Stämme Botulinumtoxin bilden.

Die klassische Einteilung von *C. botulinum* in 7 Typen (A-G) wird derzeit durch moderne wissenschaftliche Untersuchungen aufgefächert: Es gibt nunmehr etwa 20 Subtypen und etwa 60-70 Serovare. Diese Vielfalt erklärt zum einen die bekannten klinischen Unterschiede der Botulinumtoxikosen bei Mensch und Tier, andererseits kann man sich nicht mehr darauf berufen, dass einige Typen nur für einige Tierspezies oder den Menschen pathogen seien. Da es eine horizontale genetische Übertragung für Toxinbildung auf andere Clostridien gibt, wird die Diagnose der ursächlichen Zusammenhänge wesentlich erschwert. Die

Typisierung ist besonders bei der Frage des Einsatzes von Impfstoff wichtig, da Botulinumtoxine als typspezifisch praktisch ohne Kreuzreaktionen gelten.

Die in der Bakteriologie übliche Diagnose hängt von der Gewinnung von Einzelkulturen ab, deren Toxin bildende Eigenschaften dann nachgewiesen werden. Dies ist bei einzelnen Typen bzw. Stämmen von *C. botulinum* fast unmöglich, was einen Einfluss auf die Herstellung von bestandsspezifischen Impfstoffen hat (s.u.). Moderne molekularbiologische Nachweisverfahren können einzelne Toxingene oder Bausteine der Clostridien nachweisen; es gibt derzeit aber kein einheitliches Verfahren, das die Präsenz von Clostridien, die Botulinumtoxin produzieren können, von Toxinen, die in verschiedenen Substraten gebildet worden sind, und deren Gewinnung aus unterschiedlichen Matrices (z.B. Organproben, Darminhalt, Boden- und Futterproben) ermöglichen. Das erschwert die Diagnose als Ganzes und die Interpretation der Ergebnisse im Besonderen (s.u.).

C. botulinum bildet sog. Biofilme. Das sind schwammartige Zusammenballungen unterschiedlicher Bakterien in einer Masse aus bakteriellen Exsudaten, die z.B. auf Pflanzen, in Silage, auf der Auskleidung des Magen-Darmtraktes und auf anderen Oberflächen zu finden sind. Dadurch ist es unmöglich, eine genaue Zählung von Bakterien und eine dadurch hervorgerufene pathologisch/toxische Wirkung zu bestimmen. Gleichfalls sind dadurch die sich im Inneren der Biofilme befindlichen vegetativen Bakterienformen durch Medikamente oder Desinfektionsmittel nicht in der Weise zu beeinflussen, wie es unter Laborbedingungen mit Einzelkolonien möglich ist (Abb. 1).

Die von *C. botulinum* gebildeten Toxine lassen sich in

- Neurotoxine, die z.B. im Nervensystem wirken, und in
- sonstige Toxine (z.B. Hämolyse, cytotoxische Substanzen) trennen. Zusätzlich gibt es noch
- Hüllsubstanzen, die die Neurotoxine teilweise vor dem Einfluss von Verdauungsenzymen schützen.

Die Gesamtheit der Stoffwechselprodukte von *C. botulinum*, die eigentlich die Bezeichnung „Botulinumtoxin“ darstellen sollte, ist

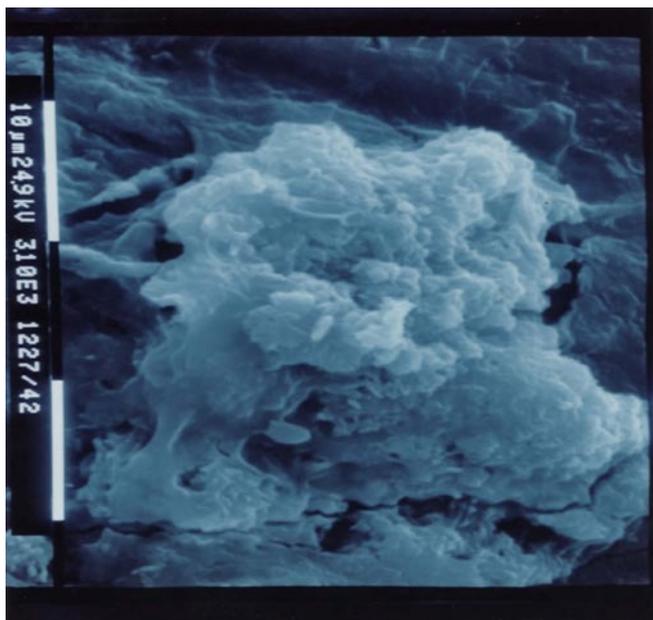


Abb. 1: Biofilmbildung durch C. botulinum

das pathogene Prinzip. Sie wird durch andere Bakterientoxine und Stoffwechselprodukte, durch Mykotoxine und z.B. biochemische Bestandteile in der direkten Umgebung der Bakterien beeinflusst. Unter der Bezeichnung „Botulinumtoxin“ wird aber meist nur das Botulinumneurotoxin verstanden, das als alleinigen Angriffspunkt Nerv-Muskelsynapsen haben soll.

In der Literatur ist eine Vielzahl von Beeinflussungen von Körperzellen und Regelkreisen beschrieben, die mit Reinsubstanzen der Neurotoxine meist in Zellkulturen nachgewiesen worden waren. Obwohl diese Versuche meist mit Toxinkonzentrationen durchgeführt wurden, die höher liegen können als gegebenenfalls tödliche Mengen unter natürlichen Bedingungen, ist darauf hinzuweisen, dass die alleinige Wirkung von Botulinumtoxin auf die Muskelsynapsen nicht haltbar ist (Abb. 2). Es gibt Veröffentlichungen, die von ausschließlich vegetativ bedingten Störungen berichten.

Die Neurotoxine von C. botulinum werden in die Typen A-G eingeteilt; es gibt Mischformen und Fälle von Mischinfektionen. Im Gegensatz zu anderen Toxikosen ist allerdings über die Wirkung geringster Mengen von Botulinumtoxin über einen längeren Zeitraum wenig bekannt. Neurotoxine haben eine kumulative Wirkung, da einmal geschädigte Neuronen für die Signalübertragung ausfallen und gegebenenfalls durch Neubildung von Synapsen ersetzt werden müssen.

Die Botulinumtoxinbildung erfolgt außerhalb des Körpers(mit anschließender Aufnahme meist über den Verdauungstrakt als Intoxikation), oder innerhalb des Körpers (nach Aufnahme von Bakterien mit anschließender Toxinbildung als Infektion, bei C. botulinum meist Toxikoinfektion genannt.) Unterschiedliche Faktoren bewirken das (sichtbare) klinische Bild (Abb. 3).

• Muskulatur (glatt, Quergestreift, Herz)		
• Organ bzw Zellkultur		
Gehirn	Kleinhirn	Hippocampus
Zirbeldrüse	Rückenmark	Hypophyse (VL/HL)
Pankreas	Nebenniere	Parotis
Erythrocyten	Nasenschleimhaut	Lungenendothel
Niere	Harnblase	Gebärmutter
Samenleiter	Spermie	Fettgewebe

Abb. 2: Angriffspunkte der pharmakologischen Wirkungen von verschiedenen Botulinumtoxinen auf Organsysteme

<p style="text-align: center;">Toxintyp Toxinmenge Aufnahmedauer Aufnahmeort Tierart Vorerkrankung Gesundheitszustand</p>

Abb. 3: Faktoren zur Entstehung von klinischen Botulinumtoxikosen

Bei einer reinen Intoxikation liegt der Ausbruch der Erkrankung meist innerhalb weniger Stunden nach der Aufnahme; das verursachende Futtermittel ist meist noch zu identifizieren. Bei einer nestförmigen Toxinbildung im Futter kann aber das noch verfügbare Futter kein nachweisbares Toxin enthalten, da u.U. alles Toxin schon vorher aufgenommen worden war. Bei einer Toxikoinfektion ist in der Regel die Aufnahme eines bestimmten Futters nicht mehr nachzuvollziehen. Bei viszeralem Botulismus mit seiner schwach ausgeprägten Symptomatik bleibt wie bei vielen chronischen Erkrankungen eine spezifische Krankheitsursache verborgen.

Es ist gerechtfertigt für die klassische Bezeichnung „Botulismus“ = Wurstvergiftung unter pharmakologischen Gesichtspunkten die Bezeichnung „Botulinumtoxikose“, unter klinischen Erwägungen „Botulinumsyndrom“ zu verwenden. Bei „viszeralem Botulismus“ wird das Vorherrschen von nicht-muskulären Symptomen, oft gefolgt vom Tod, gekennzeichnet. Der klinische Verlauf der Botulinumtoxikose ist in Abb. 5 dargestellt. Wie ersichtlich ist, hängt die Wahrnehmung der Erkrankung auch von verschiedenen Faktoren bei der Diagnose ab (Erfahrung des Untersuchers, Hilfsmittel wie Laboruntersuchungen, etc.).

Klinische Bilder bei viszeralem Botulismus (bei Rind nachgewiesen, Aufstellung entsprechend dem neuesten Leitfaden zur Diagnostik des Botulinumsyndroms, bei Schwein nur teilweise nachgewiesen, teilweise vermutet) sind in Abb. 4 dargestellt.

Die Labordiagnose beruht auf theoretischen und praktisch nachweisbaren Eigenschaften von C. botulinum und den Botulinumtoxinen. In etwa einem Drittel der Fälle wird ein klinischer Verdachtsfall nicht durch die Labordiagnose gestützt, auch wenn sonst keine andere Krankheitsursache erkennbar bzw. nachweisbar ist. Beim Tierversuch in der Maus zählt ein negatives Ergebnis

Rind	Schwein
Atyp. Festlieger (Milchfiebertherapie wirkungslos)	
Somnolenz, auffällige Ruhe im Stall, Verharren der Kühe, kaum Ohren- oder Schwanzbewegungen	Somnolenz, auffällige Ruhe im Stall,
Ataxien, Muskelschwäche, v.a. Hintergliedmaßen, vermehrtes Liegen, Zusammenbrechen	Körperliche Schwäche, Erdrücken von Ferkeln
Sehchwäche, ängstliches/ abartiges Verhalten	
Leistungsabfall und schneller Gewichtsverlust (Einzeltiere)	Leistungsabfall
Durchfall und Obstipationen gleichzeitig in einer Gruppe, hohler, gespannter Bauch	Durchfall und Obstipationen
Pansenfunktionsstörungen („fester Pansen“, Tympanie, Hypotonie, Wiederkauen schwach)	
	Verminderte Milchmenge trotz Oxytocingabe
Muköses Speicheln, Schluckstörungen	
Labmagenverlagerungen, häufig ohne Heilung nach OP	
Vermehrt rauschbrandartige Entzündungen (subkutan, Euter- Schenkel- Ekzem z.B.)	
Schwere Klauen- /Gelenkentzündungen nach kleiner Verletzung (Klauenchnitt)	
Verstärkte Gefäßinjektion, Ödemneigung (Triel, Euter)	Ödemneigung (Gesäuge)
Atypische Pneumonien, kurzes, stoßartiges Husten	
Wehenschwäche, Nachgeburtverhaltungen	Wehenschwäche, Nachgeburtverhaltungen
	Verringerte Wurfgröße
Geburt lebensschwacher Kälber	Geburt lebensschwacher Ferkel

Abb. 4: Klinische Bilder bei viszeralem Botulismus

nicht als Nachweis, dass es sich nicht um eine Botulinumtoxikose handelt! Bei den modernen molekularbiologischen Nachweisverfahren gibt es sowohl falsch positive als auch falsch negative Ergebnisse. Es gibt noch kein allgemein gültiges Nachweisverfahren. Letztlich ist oft der Tierarzt mit seiner klinischen (Verdachts-) Diagnose allein gelassen.

Die WHO weist (für den Menschen) darauf hin, dass man bei durch Lebensmittel bedingten Erkrankungen keine Mindestinfektionsdosis angeben kann, da theoretisch ein einziges Bakterium für den Beginn einer Erkrankung ausreicht. Wie bei anderen Infektionskrankheiten kann man davon ausgehen, dass die Wahrscheinlichkeit, dass es zu einer Erkrankung kommt, auch bei *C. botulinum* von der Anzahl der Bakterien und deren Toxinbildungsvermögen und gegebenenfalls von dem bereits gebildeten Toxin abhängt. Eine zeitliche Zuordnung von Generationszeit (Vermehrungsrate) und Toxinbildung hängt von den im Einzelfall vorherrschenden Bedingungen ab. Früher war Botulismus dadurch gekennzeichnet, dass es sich in der Regel um Erkrankungen einzelner Tiere in einer Herde/in einem Betrieb handelte.

Zum Zeitpunkt des Erkennens einer möglichen Erkrankung sind die betroffenen Körperzellen durch resorbiertes Toxin geschädigt. Dieses Toxin kann therapeutisch nicht beeinflusst werden. Antibiotikagaben haben keinen Einfluss auf die Toxinwirkung,

unter Umständen steigern sie sogar die Toxinbildung durch die betroffenen Bakterien. Antiseren müssen spezifisch sein, um das im Blut zirkulierende Toxin zu neutralisieren. Kreuzreaktionen zwischen verschiedenen Toxin- bzw. Antitoxintypen erfolgen nicht. Entsprechend müssen Impfstoffe gegen das entsprechende Toxinspektrum wirken; kommerziell ist nur ein Typ-CD-Impfstoff mit Ausnahmegenehmigung zugelassen. Die Herstellung von bestandsspezifischen Impfstoffen bedarf der Isolierung des verursachenden Bakteriums.

INFEKTIONSRISENEN

Im Infektionsgeschehen ist eine Wechselbeziehung zwischen Mikroorganismus und Wirt zu sehen, die per se zuerst nicht durch eine etwaige wechselseitige Pathogenität ausgezeichnet ist. Manche Clostridien können als Kommensalen im Verdauungstrakt leben, manche werden zerstört und verdaut, manche dringen in Organe ein oder werden durch Phagozyten verschleppt.

In dieser Übersicht wird „Infektionsrisiko“ als Gesundheitsrisiko durch Toxine verwendet, die außer- und innerhalb des Körpers gebildet und resorbiert worden waren (s.o.). Eine Toxikoinfektion wird durch Aufnahme von bakteriellen Formen ausgelöst, bereits gebildete geringe Mengen von Toxin verstärken die Haftung der Bakterien im Darmkanal.

Ohne Bakterien ist eine Toxinbildung nicht möglich. Die Herkunft der Clostridien ist in der modernen Landwirtschaft unterschiedlich:

- Natürliches Vorkommen in Boden, Meeresschlick
- Kot und Kadaver von Zugvögeln
- Technologische Verbreitung durch
 - Biokompost
 - Gärrückstände der Biogasgewinnung
 - Tierexkremte (besonders der Massentierhaltung Rind, Geflügel, Schwein) als Dünger, Düngehilfsmittel und Bodenverbesserer
 - Mülldeponien
 - Landwirtschaftlich genutzte Überflutungsflächen.

Unter Praxisbedingungen werden Clostridien bei Kompostierung oder der sog. Hygienisierungsphase vor der Biogasgewinnung nicht nur nicht abgetötet, sie können sich sogar auch vermehren. Beim Anlegen von Mülldeponien ist keinerlei Beeinflussung von Krankheitserregern vorgesehen.

Auf landwirtschaftlich für Feldfrüchte genutzten Flächen können Clostridien sporen sehr lange überleben (s.o.); bei einer späteren Nutzung als Weide oder zur Grünfütterergewinnung stellen die Clostridien sporen ein Gesundheitsrisiko dar.

- Landwirtschaftliche Verbreitung
 - Silagegewinnung unter nicht immer kontrolliertem maschinellen Einsatz

- Einsatz von pflanzlichen und tierischen Produkten mit weltweitem Ursprung in der Tierernährung
- Massentierhaltung
- TMR-Fütterung.
- Verringerte körpereigene Abwehrmaßnahmen (höheres Krankheitsrisiko) der hochgezüchteten Haustierrassen.
- Ein erkranktes Tier scheidet vermehrt Clostridien aus,
- Ein geimpftes Tier scheidet wahrscheinlich weiterhin Bakterienformen aus, sicher bei anderen Toxintypen,
- ein gesund erscheinendes Tier kann bereits chronisch, subklinisch erkrankt sein,
- ein als gesund geschlachtetes Tier kann in seinem Magen-Darmtrakt Clostridien enthalten (Träger).
- Vor der Verwendung des Begriffs „viszeraler Botulismus“ wurde jedes Tier, das nicht offensichtlich an plötzlichem muskulären Botulismus erkrankt war, und beim Freisein von anderen bekannten Krankheitsursachen als „gesund“ bezeichnet. Es konnte dann auch gegebenenfalls Clostridien in seinen Organen beherbergen. Diese Angaben des „natürlichen Clostridienvorkommens“ sind nunmehr alle zu hinterfragen.

Wie oben dargestellt, kommen Bakterien von außen in das Bezugssystem Umwelt – Tier/Mensch.

- Silage (Rind)
 - Steigerung der Bakterienzahl
 - erhöhter Bodenanteil, wie z.B. tiefes Mähen, nasses Wetter, hohe Arbeitsgeschwindigkeit, Festfahren des Silos mit verschmutzten Treckerreifen
 - schlechte Silierung hat, wie z.B. durch nicht ausreichende Verfestigung, zu trockenes Silagegut, zu späte Ernte, fehlendes, unwirksames Silierhilfsmittel
 - Schimmelbefall
 - Eintrag von toten oder zuvor noch lebenden Tieren
 - Antrocknen, Eintrag über die Atemluft (Tier, Mensch)
 - Orale Eintrag über Futter (Tier), Hände (Mensch; Essen, Rauchen)
 - Möglichkeit der Toxinbildung
 - Toxinbildung im Futter
 - Toxinbildung im Rachenraum, im Magen-Darm-Trakt
 - Orale Toxin-Aufnahme über Futter (Tier), Hände (Mensch)
- Trockenfutterlagerung (Schwein, Rind)
 - Steigerung der Bakterienzahl, Möglichkeit der Toxinbildung
 - Schwitzwasser
 - Regenwasser
 - Schadnager
 - mangelnde Sauberkeit im /am Futtertrog/-tisch
 - Vögel, z.B. Spatzen, Stare über dem Futtertisch
 - Katzen
 - Toxinbildung, Aufnahme von Sporen
 - Antrocknen von verschmutztem Futter, Boden, Kot an

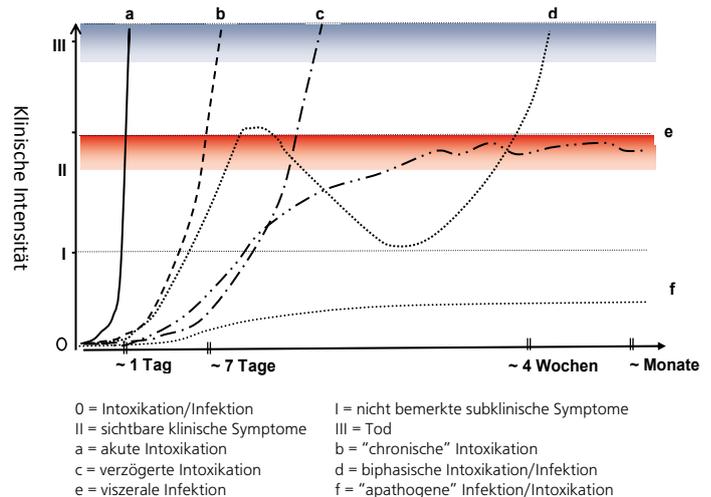


Abb. 5: Klinischer Verlauf der Botulinumtoxikose

Arbeitskleidung (Mensch)

- Eintrag von Sporen in die Wohnung
 - Gefahr für Säuglinge, alte, kranke Menschen (Inhalation)
 - verschmutzte Nahrung.

Bei erkrankten Tieren wird berichtet, dass der Zungentonus v.a. beim Rind nachlässt und dass die benutzen; Gefahr für den Untersucher durch Bakterien und Toxine.

Das biologische Gleichgewicht im Darm ist gegebenenfalls durch die Verfütterung von Prä- und Probiotika zu stabilisieren. Inwieweit die teilweise nahe verwandten Bacillus spp. pathogene Clostridium spp. beeinflussen, sollte untersucht werden.

Ein Futterwechsel zu unverdächtigem Futter ist anzuraten. Generell sollten Futterwechsel nur innerhalb eines Zeitraumes von etwa 5 Tagen durchgeführt werden, um die Verdauung anzupassen und den Clostridien weniger Nährstoffe anzubieten.

Futter von Überflutungsflächen, Flächen, die mit Biokompost oder Biogasgülle gedüngt sind und Zupachtflächen von (unerkannt, bekannt betroffenen) anderen Betrieben ist als potentiell gefährlich anzusehen und nicht einzusetzen.

Trotz hoher Kosten sollten importierte Futtermittel aus Lateinamerika und Asien auf Krankheitserreger untersucht werden. Einmal importierte Clostridien können sehr lange größte Nachteile für landwirtschaftliche Betriebe haben. Das Problem der Kosten für Untersuchung und Rückstellmuster durch Importeure für etwa 6 Monate ist nicht gelöst.

Zukauf von (Jung-)Tieren aus fremden Beständen sollte nur mit mikrobiologischem Nachweis der Clostridiunbedenklichkeit erfolgen. (Zwei Nachweise im Abstand von etwa vier Wochen).

Generell ist festzuhalten:

- Ein verantwortungsvolles Betriebsmanagement muss dafür sorgen, die Zahl der Clostridien möglichst zu reduzieren.
- Aber auch ein bestens geführter Betrieb ist nicht vor dem Eintrag von *C. botulinum* in den Betrieb von außen gefeit.
- Ein einmal betroffener Betrieb muss lernen mit dem Krankheitserreger zu leben.
- Die grundsätzliche Haftung bei der Erzeugung von Lebensmitteln ist dabei zu beachten.
- Es können Lebensmittel tierischen Ursprungs (Schinken, Leber- und Blutwurst, Räucherfisch aus Aquakultur) und pflanzlichen Ursprungs (Bohnen, Spargel, Pilze, Getreideprodukte) betroffen sein.

Vieles ist zum Komplex Botulinumtoxikosen – Mensch und Tier noch unbekannt. Moderne landwirtschaftliche Methoden lassen sich nicht mit Erfahrungen der kleinbäuerlichen Tierhaltung von vor hundert Jahren vergleichen, auch wenn Justinus Kerner bereits zu Beginn des 19. Jahrhunderts grundlegende Erkenntnisse beschrieben hat. Manches, das teilweise noch als Hypothese beim Schwein angesehen wird, ist dadurch gekennzeichnet, dass nach einer *C. botulinum*-Impfung die Krankheitssymptome verschwanden und sich die Betriebe wieder stabilisiert haben. ■

*Referenten der 9. AVA-Haupttagung: Prof. Dr. Dr. med. vet. Helge Böhnel und PD Dr. med. vet. Frank Gessler
MiproLab GmbH Veterinärdiagnostik
Marie-Curie-Str. 7, 37079 Göttingen*

ANMERKUNGEN

Die Verwendung von Bioabfällen oder nachwachsenden Rohstoffen zur Energiegewinnung durch Herstellung von Biogas wird allgemein als wünschenswert angesehen. In der Öffentlichkeit spielt dabei die Produktion von Biogas die Hauptrolle; die Gärreste werden als guter Dünger angesehen.

Die technische Ausgestaltung der Biogasgewinnung hat einen sehr hohen Grad erreicht. Die verschiedenen Systeme arbeiten relativ störungsfrei; der Ausstoß von Biogas kann gut geregelt werden.

Allerdings besteht noch ein Klärungsbedarf bei Fragen der Hygienisierung. Damit meint man das Abtöten von Krankheitserregern im Laufe des Prozesses, so dass das Endprodukt „Gärrest“ unbedenklich als Bodenverbesserer bzw. Dünger eingesetzt werden kann.

In verschiedenen Studien wird „Clostridium perfringens“ als Indikatorkeim untersucht und bewertet. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass es davon mehrere Typen und Subtypen gibt, die sich pathogen und die Umwelt betreffend ganz unterschiedlich verhalten. Außerdem ist die Versporung besonders im Labor nicht immer gewährleistet bzw. man kann natürliche Verhältnisse nur schlecht nachstellen.

In den letzten 15 Jahren treten gehäuft bei Rindern und Geflügel, neuerdings auch bei Pferden und anscheinend auch bei Schweinen, klinisch unterschiedliche Erkrankungen auf, die als Botulismus in seiner klinisch akuten und chronischen Form nachgewiesen werden. Verursacher ist *Clostridium botulinum*. Dieses *Clostridium botulinum* (mit derzeit etwa 70-100

Typen, Subtypen und Serovaren/Toxivaren) ist eine Gruppe von Krankheitserregern, die sich nur schwer mit den anderen Clostridien vergleichen lassen. Da *C. botulinum* das derzeit stärkste bekannte biologische Stoffwechselprodukt produziert, (es gehört deshalb zu den Bioterrorismusagenzien), führen speziell Arbeitserlaubnis, Lagerung, Tierversuche, Entsorgung etc. dazu, dass sich nur wenige Wissenschaftler in Deutschland mit diesem keim befassen. In den letzten Jahren wurden Zusammenhänge zwischen Erkrankung von Rind, Pferd und Mensch, von Rind und Biogasgärresten, Rind und Rindergülle nachgewiesen. Es gibt allerdings keine flächendeckende Untersuchung zum Vorkommen von *C. botulinum* in Deutschland, weder im Boden noch in der Tierproduktion. Auch die Gewinnung von Futterpflanzen hat einen Einfluss auf die Vermehrung des *C. botulinum*.

Es ist somit davon auszugehen, dass *C. botulinum* bei der Biogasgewinnung ein besonderes Augenmerk erfordert. Folgende Fragen sind zu erforschen um eine Aussage machen zu können, ob *C. botulinum*, wie vermutet, in Zusammenhang mit der Biogasgewinnung eine Gesundheitsgefährdung für Mensch und Tier darstellt:

- Prävalenz in Rinderbeständen
- Prävalenz in Gärrückständen
- Prävalenz im Boden von mit Fäkalien oder Gärrückständen gedüngten landwirtschaftlichen Flächen
- Gesundheitszustand von Rindern nach der Ausbringung von Biogasgärresten
- Einfluss auf die Gesundheit der Landwirte in von Botulismus erkrankten Tierbeständen
- Einfluss auf die Gesundheit des in Biogasanlagen arbeitenden Personals
- Einfluss der Technologie der Biogasge-

winnung auf das Vorkommen von *C. botulinum* in den Gärrückständen

- Einfluss der Technologie der Biogasgewinnung auf das Vorkommen von *C. botulinum* in aus der Landwirtschaft stammenden Lebensmitteln
- Einfluss der Abwässer von Biogasanlagen auf Gesundheit von bzw. Gesundheitsgefährdung durch Fische und Muscheln und gegebenenfalls auf Menschen in Badegewässern.

ZUSAMMENFASSUNG

Clostridium botulinum ist ein Krankheitserreger, der in Zusammenhang mit Biogasgewinnung ein Gefährdungspotenzial aufweist. Umfassende Untersuchungen sollten die Frage klären, durch welche Technologie gegebenenfalls eine Reduzierung bzw. Minimierung erfolgen kann, wenn *C. botulinum* eine Gesundheitsgefährdung von Tier und Mensch darstellt.

Hersteller und Betreiber von Biogasanlagen, Landwirte, Mikrobiologen und Lebensmitteltechniker, Ärzte und Tierärzte sollten zusammenarbeiten. Es ist darauf hinzuweisen, dass sich *C. botulinum* gegebenenfalls in der Natur anreichern und somit die Gesundheitsgefährdung plötzlich offensichtlich werden kann.

Es erscheint unverständlich, dass diese Fragen bis jetzt noch nicht geklärt sind. Eigentlich hätten derartige Szenarien bereits vor der Propagierung der Biogasgewinnung abschließend beurteilt werden müssen. ■



Prof. Dr. H. Böhnel
Göttingen