

# Bacillus thuringiensis: Bedeutung des Bakteriums für den integrierten Pflanzenschutz

Die einzigartige Wirkungsweise macht B.t.-Präparate für den Waldschutz unentbehrlich

Ralf Petercord

Um Massenvermehrungen blattfressender Schmetterlingsarten einzudämmen, wurde in Bayern seit Beginn der 1970er Jahre das B.t.-Präparat »Dipel ES« mit großem Erfolg eingesetzt. Es basiert auf dem Bakterium *Bacillus thuringiensis*. Seit Ablauf der Zulassung Ende des Jahres 2010 steht dieses Präparat, das die Anforderungen eines integrierten Pflanzenschutzes wie kaum ein anderes Mittel in hervorragender Weise erfüllt, nicht mehr für Waldschutzmaßnahmen mit Luftfahrzeugen zur Verfügung. Die Wirkungsweise dieser Präparate ist einzigartig und soll im Folgenden in ihrer Bedeutung für den Waldschutz dargestellt werden.

Wenn Pflanzenschutzmittel eingesetzt werden, müssen diese so weit wie möglich zielartenspezifisch sein und die geringsten Nebenwirkungen auf die menschliche Gesundheit, Nichtzielorganismen und die Umwelt haben. Dies ist ein zentraler Grundsatz des integrierten Pflanzenschutzes, den das neue Pflanzenschutzgesetz verbindlich vorschreibt. Präparate auf *Bacillus thuringiensis*-Basis erfüllen diese Forderung in herausragender Weise und haben damit bei Pflanzenschutzmitteleinsätzen im Wald eine besondere Bedeutung.

## Entdeckung eines biologischen Insektizids

1901 isolierte der japanische Wissenschaftler Ishiwata Shigetane aus Raupen des Seidenspinners ein Bakterium, das er als *Bacillus sotto* bezeichnete. Der deutsche Ernst Berliner fand dasselbe Bakterium 1911 in abgestorbenen Raupen der Mehlmotte und bezeichnete es als *Bacillus thuringiensis*, da er die Mehlmotten aus Thüringen erhalten hatte. Die Raupen zeigten die Symptome der »Schlaffsucht«, einer aus Insektenzuchten bekannten Erkrankung, deren Ursache zum damaligen Zeitpunkt noch unbekannt war. Berliner wies das Bakterium *Bacillus thuringiensis* als Erreger dieser Krankheit aus und beschrieb damit erstmalig dessen insektizide Wirkung. Im Laufe der nachfolgenden Jahre hat man verschiedene Bakterienstämme von *Bacillus thuringiensis* entdeckt und beschrieben, zum Beispiel *Bacillus thuringiensis subsp. kurstaki* (Btk), *Bacillus thuringiensis subsp. tenebrionis* (Btt), *Bacillus thuringiensis subsp. israelensis* (Bti) u.a.. Jeder dieser Stämme bildet spezifische B.t.-Proteine, die allerdings nicht alle toxisch gegenüber Insekten sind. Insgesamt sind weltweit bisher circa 50.000 *Bacillus thuringiensis*-Stämme und circa 400 spezifische B.t.-Proteine dieser B.t.-Stämme bekannt. Gut 3.000 Insektenarten aus mehr als 15 Ordnungen gelten als empfindlich gegenüber B.t.-Proteinen und neben der insektiziden Wirkung gibt es auch spezifische Toxizität gegenüber Nematoden und Einzellern.

## Entstehung von B.t.-Proteinen

*Bacillus thuringiensis* vermehrt sich bei günstigen Umweltbedingungen – wie andere Bakterien auch – vegetativ durch Teilung. Verschlechtern sich die Lebensbedingungen, wird dieser vegetative Zyklus beendet und das Bakterium bildet ein Dauerstadium (Endospore) aus, das auch extreme Umweltbedingungen über extrem lange Zeiträume (mehrere Millionen Jahre!) überdauern kann. Die Bildung dieser Endospore bezeichnet man als Sporulation. Bei *Bacillus thuringiensis* entstehen während der Sporulation neben der Endospore auch Kristallproteine. Je nach Stamm variieren diese Kristallproteine in Anzahl und Form. Am Ende der Sporulation liegen in dem nun zum Sporangium umgebildeten Bakterium eine Endospore und ein oder mehrere Kristallproteine vor. Wirken diese Kristallproteine toxisch, so werden sie auch als Kristalltoxine bzw. Endotoxine oder Delta-Endotoxine bezeichnet. Diese Endotoxine (»Endo« griech. - Innen; Toxin griech. - die giftige [Substanz]) liegen im Sporangium als Kristallprotein in einer ungiftigen Form (Protoxin) vor und werden erst unter bestimmten Bedingungen zum Toxin. Die Endotoxine selbst bestehen aus jeweils drei Teilbereichen, die als Proteindomänen bezeichnet werden und jeweils unterschiedliche Funktionen haben. Die Domäne I bedingt eine Porenbildung und Domäne II eine Rezeptorbindung. Die Funktion der Domäne III ist noch weitgehend unbekannt, möglicherweise sichert sie die strukturelle Unversehrtheit und ist sowohl an der Porenbildung als auch an der Rezeptorbindung mitbeteiligt.

## Wirkungsmechanismus

Die Insekten nehmen die zunächst ungiftige Form (Protoxin) des in den Kristallproteinen vorliegenden Endotoxins mit der Nahrung auf. Im Mitteldarm des Insekts, bei spezifischen alkalischen pH-Werten, werden die Kristallproteine durch Enzyme (Proteasen) gespalten und damit die inaktiven Prototoxine zur eigentlichen Toxinform umgewandelt. Diese können sich nun an spezifische Rezeptoren der Darmwand binden (Domäne II und III). Spezielle Bestandteile des Toxins (Domäne I und III) senken sich daraufhin in die Zellmembran der

## Auffällige Stammschäden – gewusst, wer's war?



Foto: A. Fisel / AELF Kempten

Aufmerksamen Beobachtern könnten beim Waldspaziergang seltsame Stammschäden ins Auge fallen: Die Rinde ist bei jüngeren Nadelbäumen plätzeweise abgenagt. Spechtschäden können es nicht sein, sonst wären die Einschläge des Schnabels erkennbar. Schältschäden können es nicht sein, da die Schäden zu hoch am Stamm und charakteristisch spiralig verlaufen. Solche Schäden stammen vom Eichhörnchen.

Das Eichhörnchen verwendet einerseits abgestorbene Rindenteile von Laubbäumen (vorzugsweise Bastfasern von Linde, aber auch von Weide, Ulme und Eiche) für den Kobelbau, andererseits schält es zur Nahrungsaufnahme die Rinde noch lebender Bäume ab, um an Kambium und Baumsaft zu gelangen. Bevorzugt werden zu diesem Zweck neben jungen Lärchen und Douglasien auch Kiefern, Tannen und Fichten aufgesucht. Aber auch Laubbäume werden nicht verschont. Besonders beliebt sind Buchen, Eichen und Weichlaubhölzer. Das Eichhörnchen schält hierbei in zwei bis drei Metern Höhe und auch höher plätze- oder streifenweise. Diese Art von Schädigung steht also nie im Zusammenhang mit dem Nestbau. Solange nicht vollständig geringelt wird, können die Bäume solche Schäden meist gut wieder ausheilen.

Das Eichhörnchen verursacht noch einen weiteren auffälligen Schaden an Fichte und Tanne: Es beißt Triebe ab. Dies dient neben der Nahrungsaufnahme auch der Frustbewältigung: Junge Eichhörnchen bauen so ihre überschüssigen Kräfte und Aggressionen ab. Oft finden sich so unter Fichten oder Tannen ganze »Tepiche« abgenagter Triebe. Ältere Bäume verkraften den Schaden, jüngere können dadurch stark beeinträchtigt werden. Julia Zeitler

Weitere Informationen zum Thema Schäden durch Eichhörnchen unter:

- <http://www.lwf.bayern.de/waldbewirtschaftung/waldschutz/schaedlinge-und-baumkrankheiten/maeuse-und-kleinsaeger/index.php> sowie
- [http://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/schaden/nager/wsl\\_eichhoernchen\\_kobelbau/index\\_DE](http://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/schaden/nager/wsl_eichhoernchen_kobelbau/index_DE)
- Schmidt, O.; Bauer, M. L. (1998): Das Rindenschälen des Europäischen Eichhörnchens (*Sciurus vulgaris* L.) aus forstlicher Sicht. Säugetierkundliche Information 22, S. 364–369

Darmwand und verursachen dort die Entstehung von Poren. Die Darmwand wird so regelrecht perforiert. Das führt zu einem sofortigen Fraßstopp, einer Diarrhoe und in Folge dessen zum Austrocknen der Larven (Symptomatik der Schlaflsucht). Letztlich gelangen Darmbakterien durch die Poren in den Blutkreislauf (Hämolymphe) und verursachen dort eine »Blutvergiftung«, die zum Absterben des Insekts führt.

## Hohe Selektivität

Die besondere Bedeutung von B.t.-Präparaten für den integrierten Pflanzenschutz beruht auf diesem charakteristischen Wirkungsmechanismus. Er sichert eine höchstmögliche Selektivität und damit den sehr weitgehenden Schutz von Nichtzielorganismen. So wirken B.t.-Präparate auf Basis eines bestimmten B.t.-Stammes nur auf Raupen bzw. Larven bestimmter Insektenarten, entsprechend der artspezifischen Bedingungen im Darm der betreffenden Insektenart nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip. Die aufeinander aufbauenden Bedingungen müssen dabei alle erfüllt werden (»Conditio sine qua non«):

- Das kristallisierte Protoxin muss gefressen werden.
- Im Darm muss ein bestimmter pH-Wert vorliegen ( $\text{pH} > 9$ ), um die Kristallstruktur aufzulösen.
- Spezifische Proteasen (Enzyme) müssen vorhanden sein, um die ungiftigen Protoxine in einem ersten Verdauungsschritt in die aktive Toxinform zu überführen.
- Auf dem Epithel des Mitteldarms müssen die passenden Rezeptoren vorhanden sein, damit das Toxin über seine spezifische Schlüsselstruktur an die Epithelmembran andocken kann (Schlüssel-Schloss-Prinzip).

Nur wenn alle diese Bedingungen erfüllt sind, wirkt das B.t.-Kristallprotein eines bestimmten B.t.-Stammes toxisch.

## Keine Auswirkungen auf den Naturhaushalt

Das Pflanzenschutzmittel »Dipel ES« enthält die Endotoxine des Stammes *Bacillus thuringiensis subsp. kurstaki* (Btk), die ausschließlich auf freifressende Schmetterlingsraupen toxisch wirken und damit die Zahl der potentiell betroffenen Nichtzielorganismen stark einschränken. Zudem werden B.t.-Präparate bei Starkniederschlagsereignissen abgewaschen und sind zudem UV-empfindlich. Ihre Wirkungsdauer ist daher stark abhängig vom Anwendungsgebiet, dem Witterungsverlauf und der Sonneneinstrahlung. Bei Waldschutzmaßnahmen wird von einer ein- bis zweiwöchigen Wirkungsdauer ausgegangen. Auch dies reduziert die Zahl der potentiell betroffenen Nichtzielorganismen deutlich, da nur Schmetterlingsraupen, die unmittelbar zum Zeitpunkt der Behandlung an den Blättern fressen, erreicht werden. So ist auch der Einsatz in Gewässernähe unbedenklich, da Fische, Fischnährtiere oder andere Wasserlebewesen nicht betroffen werden können.

Letztlich werden B.t.-Präparate durch die UV-Strahlung inaktiviert und durch Mikroorganismen vollständig abgebaut, so dass auch keine langfristige Belastung des Naturhaushaltes zu befürchten ist.

## Fazit

Insgesamt entspricht »Dipel ES« in herausragender Weise der Anforderung des neuen Pflanzenschutzrechtes zum integrierten Pflanzenschutz. Leider ist ein Einsatz im Waldschutz derzeit trotzdem nicht sinnvoll möglich, da die Zulassung zur Ausbringung mit Luftfahrzeugen ausgelaufen ist und eine Neuzulassung nicht in Aussicht steht. Dies ist aus pflanzenschutzfachlicher Sicht unverständlich, da nun bei notwendigen Waldschutzmaßnahmen auf weniger selektiv wirkende Pflanzenschutzmittel mit strengen Abstandsauflagen zurückgegriffen werden muss bzw. in Gewässernähe kein Pflanzenschutzmittel mehr zur Verfügung steht. Dies ist gerade in Bezug auf die Bekämpfung des Eichenprozessionsspinners problematisch. Die Zulassung eines B.t.-Präparates für den forstlichen Anwendungsbereich, das über eine Zulassung zur Ausbringung mit Luftfahrzeugen verfügt, ist daher dringend geboten.

## Literatur

Biosicherheit.de: *Bacillus thuringiensis – Die Karriere eines Bakteriums*. Online-Veröffentlichung: [www.biosicherheit.de](http://www.biosicherheit.de)

Broderick, N.A.; Raffa, K.F.; Hadelsman J. (2006): *Midgut bacteria required for Bacillus thuringiensis insecticidal activity*. PNAS, 103 (41), S. 15196–15199

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (Hrsg.) (2012): *Pflanzenschutzmittel-Verzeichnis Teil 4 2012 Forst*. 60. Auflage, Saphir Verlag, Ribbesbüttel: 57 S.

Cano, R.J.; Borucki, M.K. (1995): *Revival and identification of bacterial spores in 25- to 40-million-year-old Dominican amber*. Science, Bd. 268, Nr. 5213, S. 1060–1064

Kaiser-Alexnat, R. (2007): *Bacillus thuringiensis*. Biologische Bundesanstalt-Institut für biologischen Pflanzenschutz, Darmstadt: Online Veröffentlichung: [www.jki.bund.de](http://www.jki.bund.de)

Petercord, R.; Delb, H.; Schröter, H. (2008): *Informationen zur Human- und Ökotoxikologie von Bt-Präparaten, die bei der Bekämpfung von freifressenden Schmetterlingsraupen im Forst eingesetzt werden*. Waldschutz-Info 1/2008; FVA-Baden-Württemberg: 8 S.

Wolf, G. (Edi.) (1964): *Bacillus thuringiensis (Bacillaceae) – Vegetative Vermehrung und Sporenbildung*. Encyclopaedia Cinematographica E 555/1963. Insitut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen: 9 S.

---

Dr. Ralf Petercord leitet die Abteilung »Waldschutz« der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft im Zentrum Wald-Forst-Holz Weihenstephan. [Ralf.Petercord@lwf.bayern.de](mailto:Ralf.Petercord@lwf.bayern.de)

## Der Graue Leistling – Pilz des Jahres 2012



Foto: M. Gebert

»Pffiferl«, »Reherl«, »Eierschwammerl« oder »Pffiferlinge« kennt fast jedes Kind, doch dass es neben dem gelben Eierschwamm noch eine ganze Reihe weiterer Pffiferlingsarten gibt, das ist in der Regel nur eingefleischten Pilzsammlern bekannt. Mit der Auswahl des Grauen Leistlings *Cantharellus cinereus* zum Pilz des Jahres 2012 macht die Deutsche Gesellschaft für Mykologie (DGfM) nun auf die Vielzahl der unscheinbareren Arten in unseren Wäldern aufmerksam.

Der Graue Leistling hat eine braungraue Hutoberseite, die zunächst gewölbt, später trichterförmig ausgeprägt ist. Im Durchmesser erreichen die Hüte zwei bis maximal vier Zentimeter. Die Hutunterseite ist dagegen deutlich hellgrau abgesetzt und durch die gattungstypischen Leisten gekennzeichnet. Im Gegensatz zu Lamellen gabeln sich diese häufiger, sind ungleichmäßiger aufgebaut und auch nicht so tief ausgebildet. Der bis zu acht Zentimeter lange Stiel ist im Alter hohl und ähnlich der Hutoberseite gefärbt.

In sechs bayerischen Naturwaldreservaten ist der Pilz bislang nachgewiesen worden. Zum einen in Buchenbeständen der Rhön (Naturwaldreservate Lösershag und Eisgraben), in den Steigerwaldreservaten Brunnstube und Waldhaus, im Hienheimer Wald im Naturwaldreservat Platte und in den Alpen in den unteren Lagen des Naturwaldreservates Jackelberg. Dies macht deutlich, dass der Pilz als Mykorrhizapilz in erster Linie ein Begleiter der Buche ist. Auch sonst ist der Pilz in Bayern verbreitet, aber nicht sehr häufig.

Grundsätzlich kommt auch der Graue Leistling – so wie alle bei uns heimischen Leistlinge – als Speisepilz in Frage, da er praktisch kaum mit Giftpilzen verwechselt werden kann. Der Pilz ist wie alle Pffiferlingsverwandten zwar gemäß Bundesartenschutzverordnung geschützt, diese lässt aber das Sammeln der Fruchtkörper aus dem Wald für den eigenen Bedarf zu. Allerdings wird man nur sehr selten einen Pilzkorb mit ihm füllen können.

Markus Blaschke