



Datenbank PlantGeneRisk | Steckbrief

Juli 2019

Bienen: Artenschutz durch Gentechnik?

Bienenvölker – ein Superorganismus unter Stress

Vor allem durch die industrielle Landwirtschaft geraten Bienen erheblich unter Stress: Sie sind durch Spritzmitteleinsatz diversen Giften ausgesetzt und ihnen fehlen oft geeignete Blütenpflanzen. Auch der zunehmende Befall mit Parasiten kann durch diese Faktoren begünstigt werden. Kurz: Der Lebensraum der Biene wurde so gravierend verändert, dass das Überleben der Bienenvölker bedroht ist. Tatsächlich legen Untersuchungen an Bienenvölkern in Afrika nahe, dass schädliche Umwelteinflüsse einen erheblichen Einfluss auf deren Resistenz gegenüber der Varroa-Milbe haben (Muli et al., 2014).

Da Bienen vor allem als Bestäuber dringend benötigt werden, gibt es zwei Strategien, den aktuellen Problemen zu begegnen: Entweder man schafft (wieder) eine Bienen-freundlichere Umwelt, oder man schafft eine neue Biene. Die Diskussion darüber, ob man in Zukunft Artenschutz auch per Gentechnik betreiben könnte, hat mit dem Einzug der neuen Gentechnikverfahren und der Verfügbarkeit der Gen-Schere CRISPR/Cas deutlich zugenommen.

Im Jahr 2006 wurde die DNA der Honigbiene entschlüsselt (The Honey Bee Genome Sequencing Consortium, 2006). Dabei wurde auch die Verknüpfung von Umwelt und Genom im Detail untersucht. Es zeigte sich, wie auch schon in früheren Beobachtungen, dass es die Nahrung ist, die bei Bienen darüber entscheidet, ob aus einer Larve eine Königin oder eine Arbeiterin wird: In Abhängigkeit von bestimmten Proteinen im Futter werden Gene an- und abgeschaltet. Die Königinnen können folglich mit dem gleichen Erbgut wie die Arbeiterinnen nicht nur 2000 Eier am Tag legen, sondern auch zehnmal länger als die normalen Bienen leben. Die Entwicklung der Arbeiterinnen wird darüber hinaus noch weiter von Futter und Umwelteinflüssen gesteuert: Je knapper das Futter, desto schneller verläuft ihre Entwicklung von der Larve bis zum erwachsenen Tier. Gleichzeitig entscheiden die Arbeiterbienen je nach Bedarf, welche Larven wie gefüttert werden. Bienenvolk, Gen-Aktivität und Umwelt sind so in einer Art Endlosschleife miteinander gekoppelt. Sie orchestrieren das biologische Programm des Bienenstocks, der sich flexibel an oft wechselnde äußere Einflüsse anpassen kann, ohne dabei aus dem Takt zu geraten. Greift man bei diesem Superorganismus in das Genom oder die Genregulation ein, ist immer das ganze Bienenvolk betroffen, nicht nur einzelne Tiere. Doch genau darum geht es jetzt den GentechnikerInnen, die mit der ‚Gen-Schere‘ CRISPR das Erbgut der Bienen verändern. Und es gibt weitere Risiken für Bienen, die mit verschiedenen Anwendungen der Gentechnik einhergehen.

Gefährdung von Bienen durch den Anbau von Gentechnikpflanzen?

Bienenvölker haben einen Flugradius von mehreren Kilometern und ein breites Spektrum von Pflanzen, die sie bestäuben. Dabei können beispielsweise auch Pollen gentechnisch veränderter Pflanzen übertragen werden. Dieses Risiko würde in Europa vor allem den Anbau von gentechnisch verändertem Raps betreffen, falls dieser zum Anbau zugelassen oder sich nach Transportverlusten in der Umwelt ausbreiten würde. Raps hat in Europa ein großes Ausbreitungspotential (Bauer-Panskus et al., 2013). Bienen sammeln auch die Pollen von Maispflanzen. Gentechnisch veränderte Maispflanzen produzieren ein sogenanntes Bt-Insektengift. Die von den Pflanzen gebildeten Bt-Toxine sollen für Bienen zwar normalerweise unschädlich sein. Doch Wechselwirkungen zwischen den Bt-Toxinen und anderen Stressoren wie Umweltgiften, Krankheitserregern oder Pestiziden können dazu führen, dass die Giftwirkung der Toxine erheblich verstärkt wird (Then, 2010). Dadurch könnten diese auch bei Bienen wirksam werden. Auch ExpertInnen, die davon ausgehen, dass Bt-Toxine aus dem Gentechnik-Mais im Allgemeinen kein Risiko für Bienen darstellen, sprechen sich deswegen für eine Untersuchung der Wechselwirkung der Toxine mit anderen Stressoren aus (Duan et al., 2008).

Als mögliche weitere Einflussfaktoren kommen u.a. Umweltgifte und Mikroorganismen im Darm in Frage: Broderick et al. (2006 und 2009) zeigen, dass bestimmte Darmbakterien eine wichtige Rolle bei der toxischen Wirkung von Bt-Toxinen spielen. Insekten, bei denen die Darmflora durch Antibiotika abgetötet war, zeigen dagegen keine so deutliche Reaktion auf das Gift. Kramarz et al. (2007 und 2009) fanden bei Untersuchungen an Schnecken heraus, dass es Wechselwirkungen zwischen Umweltgiften wie Cadmium und den Bt-Toxinen gibt, die dazu führen, dass diese Toxine auch bei Organismen wirken, die normalerweise als unempfindlich gelten. Derartige Effekte können auch Bienen betreffen: Wie eine Studie aus dem Jahr 2005 zeigt, kann das Auftreten von Darmparasiten (*Nosema*) dazu führen, dass Bienenvölker für das Bt-Toxin empfindlich werden.¹ Diese Untersuchungen sorgten für ein erhebliches Medienecho², konnten jedoch nie zu Ende geführt und veröffentlicht werden, unter anderem deshalb, weil keine weiteren öffentlichen Fördermittel zur Fortsetzung dieses Projektes bewilligt wurden. Trotz anderer Behauptungen sind diese Risiken bis heute nicht abschließend geklärt. 2016 zeigten Studien an Wasserflöhen erneut, wie groß der Forschungsbedarf hier ist (Bøhn et al., 2016): Auch *Daphnien* aus der Gattung der Krebstiere, die ein beliebtes Labortier der WissenschaftlerInnen sind, sollten gegenüber den speziellen Bt-Toxinen eigentlich unempfindlich sein. Doch insbesondere in Wechselwirkungen mit anderen Faktoren zeigten sich bei ihnen deutlich erhöhte Sterberaten.

In einer anderen Studie wurde zudem gezeigt, dass Bt-Toxine die Lernfähigkeit von Bienen beeinträchtigen können (Ramirez-Romero et al., 2008). Dies könnte für die Bienenpopulationen erhebliche Folgen haben, falls die Orientierung der Bienen bei der Futtersuche gestört wird.

Sind die Gentechnikpflanzen resistent gegenüber Herbiziden (wie bpsw. Glyphosat), kann der Pollen auch Rückstände und Abbaustoffe der Unkrautvernichtungsmittel enthalten, die auf die Pflanzen aufgebracht wurden. So wären die Bienen einer zusätzlichen Belastung ausgesetzt. Auch dieses Risiko scheint bisher nicht ausreichend untersucht. Dabei weisen neuere Forschungsergebnisse darauf hin, dass Risiken für Bienen wahrscheinlich unterschätzt werden. So konnten Herbert et al. (2014) zeigen, dass reines Glyphosat ebenfalls negative Auswirkungen auf die Lernfähigkeit der Bienen und somit möglicherweise langfristige negative Konsequenzen für Bienenvölker hat. Balbuena et al. (2015) fanden heraus, dass Honigbienen, die glyphosathaltiges Futter erhielten, mehr Zeit für die Rückkehr zum Stock benötigten. Zudem waren Störungen beim

¹ www.gen-ethisches-netzwerk.de/kleiner-parasit-grosse-wirkung

² www.spiegel.de/spiegel/print/d-50910321.html

Erlernen des direkten Heimflugs messbar. Glyphosat beeinträchtigt damit dieser Studie zufolge die kognitiven Fähigkeiten von Bienen, die benötigt werden, um räumliche Informationen für eine erfolgreiche Rückkehr zum Bienenstock zu verarbeiten. Somit liegen negative Konsequenzen für die Honigbienen-Navigation und die Leistungsfähigkeit des gesamten Bienenvolkes nahe.

Auch die Bienen selbst werden gentechnisch verändert

Forscher an der Uni Düsseldorf zeigten 2014, dass eine gentechnische Veränderung von Bienenvölkern möglich ist. Sie manipulierten Bienenköniginnen, die das künstliche Erbgut mit einer hohen Erfolgsrate an die nächste Generation weitergaben. Nach Ansicht der ForscherInnen könnte so Grundlagenforschung betrieben, aber auch gentechnisch veränderte Bienenvölker gezüchtet werden (Schulte et al., 2014).

Auch mit neuen Gentechnikverfahren wie CRISPR/Cas wird im Erbgut von Bienen experimentiert: ForscherInnen aus Japan wollen die ‚Gen-Schere‘ dazu einsetzen, unterschiedliche Gene von Bienen zu blockieren, um so mehr über deren Funktion herauszufinden (Kohno et al., 2016). Ähnliche Forschungsarbeiten gibt es auch an einer Wespenart, bei der mit Hilfe von CRISPR/Cas die Augenfarbe der Wespen gentechnisch verändert wurde (Li et al., 2017).

2019 erschien eine Publikation, in der darüber berichtet wird, wie mit Hilfe der ‚Gen-Schere‘ CRISPR/Cas die Entwicklung von Bienen-Königinnen erforscht und beeinflusst werden kann. Als eine mögliche Anwendung wird die Entwicklung von pestizidresistenten Bienenvölkern genannt (McAfee et al., 2019). Ebenfalls 2019 erschien tatsächlich eine Publikation über eine Forschungsarbeit in Südkorea, in der erstmals per CRISPR Bienen resistent gegenüber einem Insektizid gemacht werden sollten. Dabei handelt es sich um das bienengiftige Spinosad. Ob der Eingriff erfolgreich war, geht aus der Publikation nicht hervor (Lee, 2019).

Angepriesen werden derartige Ansätze oft als ein Beitrag zum Schutz der biologischen Vielfalt. Doch die Probleme des Artenschutzes lassen sich nicht mit Gentechnik lösen. Wer die Biene retten will, muss auf den Schutz der natürlichen Populationen setzen. Vor dem Hintergrund der extrem komplexen Biologie der Bienen und ihrer vielfältigen Interaktionen mit der Umwelt ist ein Eingriff in ihr Erbgut nicht zu verantworten.

Beeinflussung der Gen-Aktivität: Parasitenbekämpfung per Gentechnik?

Außerdem werden neue biologische Botenstoffe, sogenannte miRNAs, synthetisiert, mit denen man in die Regulation von Genen eingreifen und deren Aktivität verändern kann. Finden die ForscherInnen bei ihren Versuchen mit gentechnisch veränderten Bienen geeignete Gene, können spezielle miRNAs produziert werden, die diese Gene beispielsweise blockieren sollen. Diese miRNAs können den Bienen u.a. über das Futter verabreicht werden.

Die Botenstoffe sollen auch gegen Parasiten wie die Varroa-Milbe eingesetzt werden, die die Bienen häufig befallen. Auf derartige Anwendungen hat sich die Firma Beeologics spezialisiert, die von der Firma Monsanto 2011 aufgekauft wurde.³ Monsanto (Bayer) engagiert sich aber auch darüber hinaus in diesem Bereich und hat u.a. Patente auf miRNA angemeldet (WO201506681 und WO2016179180). Die Bienen sollen diese Stoffe über das Futter aufnehmen, die miRNA soll über diesen Umweg auch in die Parasiten gelangen, die den Bienenstock befallen. In deren Genregulation (insbesondere bei der Varroa-Milbe) sollen die biologisch aktiven Botenstoffe dann eingreifen und diese abtöten.

³ www.croplife.com/crop-inputs/the-buzz-on-beeologics/

Monsanto hält das Geschäft mit seinem neuen Arsenal der „biologischen Kriegsführung“ offensichtlich für ausbaufähig: Laut Patent sollen auch andere Arten, die u.a. zu den Schlupfwespen, Krebstieren, Fliegen, Flöhen und Läusen gehören, auf diese Weise bekämpft werden.

Bienen, Wespen, Hummeln, aber auch Krebse, Milben und Flöhe gehören zur Gruppe der Arthropoden (Gliederfüßer). Wie in der Patentschrift erklärt wird, können die jeweiligen Arthropodenarten mit Hilfe der miRNA sowohl geschützt als auch bekämpft werden. Die jeweiligen Arten leben in engem Kontakt mit anderen Arten und in komplexen Ökosystemen. Auch bei Arthropoden, die nicht bekämpft werden sollen, können die Botenstoffe laut Patentschrift eine Wirkung entfalten.

Nebenwirkungen auf die Ökosysteme, die Bienen oder beispielsweise auch den Honig können grundsätzlich nicht ausgeschlossen werden: Die Botenstoffe der miRNAs sind extrem vielfältig und an ganz unterschiedlichen Prozessen beteiligt. Ihre Struktur kann zudem in den Zellen verändert werden, so dass sich auch ihre Wirkung verändert.

Pläne, Bienen oder andere frei lebende Insekten gentechnisch zu verändern oder biologisch aktive Botenstoffe wie miRNA als eine Art Insektengift einzusetzen, bedeuten deswegen ein extremes Risiko für die natürliche Artenvielfalt.

Quellen:

Balbuena, M.S., Tison, L., Hahn, M.L., Greggers, U., Menzel, R., Farina, W.M. (2015) Effects of sublethal doses of glyphosate on honeybee navigation. *Journal of Experimental Biology*, 218(17): 2799-2805. <http://jeb.biologists.org/content/218/17/2799.long>

Bauer-Panskus, A., Breckling, B., Hamberger, S., Then, C. (2013) Cultivation-independent establishment of genetically engineered plants in natural populations: current evidence and implications for EU regulation. *Environmental Sciences Europe*, 25: 34. www.enveurope.com/content/25/1/34

Bøhn, T., Rover, C.M., Semenchuk, P.R. (2016) *Daphnia magna* negatively affected by chronic exposure to purified Cry-toxins. *Food and Chemical Toxicology*, 91: 130-140. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278691516300722>

Broderick, N.A., Raffa, K.F., Handelsman, J. (2006) Midgut bacteria required for *Bacillus thuringiensis* insecticidal activity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(41): 15196-15199. <https://www.pnas.org/content/103/41/15196.short>

Broderick, N.A., Robinson, C.J., McMahon, M.D., Holt J., Handelsman, J., Raffa, K.F. (2009) Contributions of gut bacteria to *Bacillus thuringiensis*-induced mortality vary across a range of Lepidoptera. *BMC Biology*, 7: 11. <https://bmcbiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/1741-7007-7-11>

Duan, J.J., Marvier, M., Huesing, J., Dively, G., Huang, Z.Y. (2008) A meta-analysis of effects of Bt crops on honey bees (Hymenoptera: Apidae). *PloS one* 3(1): e1415. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0001415>

Herbert, L.H., Vazquez, D.E., Arenas, A., Farina, W.M. (2014) Effects of field-realistic doses of

glyphosate on honeybee appetitive behaviour. *The Journal of Experimental Biology*, 217(19): 3457-3464. <http://jeb.biologists.org/content/early/2014/07/23/jeb.109520.abstract>

Kohno, H., Suenami, S., Takeuchi, H., Sasaki, T., Kubo, T. (2016) Production of Knockout Mutants by CRISPR/Cas9 in the European Honeybee, *Apis mellifera* L.. *Zoological Science*, 33(5): 505-512. www.bioone.org/doi/abs/10.2108/zs160043

Kramarz, P.E., Vaufleury, A., Zygmunt, P.M.S., Verdun, C. (2007) Increased response to cadmium and bacillus thuringiensis maize toxicity in the snail *Helix aspersa* infected by the nematode *Phasmarhabditis hermaphrodita*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 26 (1): 73–79. <https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1897/06-095R.1>

Kramarz, P.E., de Vaufleury, A., Gimbert, F., Cortet, J., Tabone, E., Andersen, M., Krogh, P. (2009) Effects of Bt-Maize material on the life cycle of the land snail *Cantareus aspersus*. *Applied Soil Ecology*, 42(3): 236-242. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139309000808>

Lee, J. (2019) Development of Film-assisted Honey Bee Egg Collection System (FECS) and Its Application to Honey Bee Genome Editing. Department of Agricultural Biotechnology Seoul National University, February 2019. <http://s-space.snu.ac.kr/handle/10371/150961>

Li, M., Cook, L.Y., Douglah, D., Chong, A., White, B.J., Ferree, P.M., Akbari, O.S. (2017) Generation of heritable germline mutations in the jewel wasp *Nasonia vitripennis* using CRISPR/Cas9. *Scientific Reports* 7: 901. <https://www.nature.com/articles/s41598-017-00990-3>

McAfee, A., Pettis, J.S., Tarpy, D.R., Foster, L.J. (2019) Feminizer and doublesex knock-outs cause honey bees to switch sexes. *PLoS Biol* 17(5): e3000256. <https://doi.org/10.1371/journal.Pbio.3000256>

Muli, E., Patch, H., Frazier, M., Frazier, J., Torto, B., et al. (2014) Evaluation of the Distribution and Impacts of Parasites, Pathogens, and Pesticides on Honey Bee (*Apis mellifera*) Populations in East Africa. *PLoS ONE* 9(4): e94459. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0094459>

Ramirez-Romero, R., Ramirez-Romero, R., Desneux, N., Decourtye, A., Chaffiol, A., Pham-Delègue, M.H. (2008) Does Cry1Ab protein affect learning performances of the honey bee *Apis mellifera* L. (Hymenoptera, Apidae)?. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 70(2): 327-333. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651307003065>

Schulte, C., Theilenberg, E., Müller-Borg, M., Gempe, T., & Beye, M. (2014) Highly efficient integration and expression of piggyBac-derived cassettes in the honeybee (*Apis mellifera*), *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(24): 9003-9008. www.pnas.org/content/111/24/9003.abstract

The Honey Bee Genome Sequencing Consortium (2006) Insights into social insects from the genome of the honeybee *Apis mellifera*, *Nature*, 443(7114): 931. <https://www.nature.com/articles/nature05260>

Then, C. (2010) Risk assessment of toxins derived from *Bacillus thuringiensis* - synergism, efficacy, and selectivity. *Environmental Sciences and Pollution Research*, 17(3): 791–797. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-009-0208-3>