

Jakobs-Kreuzkraut (*Senecio jacobaea*): eine Ursache für Pyrrolizidin-Alkaloide im Sommerhonig?

Tansy ragwort (*Senecio jacobaea*): a source of pyrrolizidine alkaloids in summer honey?

Helge Neumann^{1,2} · Aiko Huckauf³

Received: 14 August 2015 / Accepted: 2 October 2015 / Published online: 19 October 2015
© Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) 2015

Zusammenfassung Pyrrolizidin-Alkaloide (PAs) sind Pflanzeninhaltsstoffe, die über Honigbienen (*Apis mellifera*) in Honige eingetragen werden und so in die menschliche Nahrung gelangen können. PAs gelten für den Menschen in Abhängigkeit von der Aufnahmemenge als gesundheitsschädigend; für den PA-Gehalt in Lebensmitteln gibt es bisher jedoch keine gesetzlich festgelegten Grenzwerte. Aufgrund einzelner Hinweise, dass größere Vorkommen des PA-haltigen Jakobs-Kreuzkrautes (*Senecio jacobaea*) (JKK) verantwortlich für PA-Vorkommen in Sommerhonigen sein könnten, wurden im Jahr 2014 in Schleswig-Holstein Honigproben aus Gebieten mit und ohne JKK-Vorkommen auf ihren PA-Gehalt untersucht (LC-MS/MS-Analyse, 28 Einzel-PAs). Durch Einbeziehung zusätzlicher Honigproben aus dem Umfeld gezielt angelegter Blühflächen auf Äckern wurde getestet, ob durch solche potentiellen „Ablenkfütterungen“ PA-Einträge in Honige reduziert werden können. Die Sommerhonige aus einem JKK-Umfeld wiesen signifikant höhere Gesamt-PA-Gehalte auf als die aus

Gebieten ohne JKK. Die Blühflächen hatten innerhalb der untersuchten JKK-Gebiete keinen signifikanten Einfluss auf die PA-Gesamtgehalte im Honig. In 53,5 % der insgesamt 86 Honigproben wurden PAs nachgewiesen. Der Mittelwert der PA-positiven Honige lag mit 34,4 µg/kg Honig deutlich über dem Median (6,5 µg/kg), da die Stichprobe wenige hohe und viele niedrige Werte aufwies. 28,6 % der nachgewiesenen PA-Verbindungen waren nicht *Senecio*-Arten, sondern Raublattgewächsen oder Gewöhnlichem Wasserdost (*Eupatorium cannabinum*) zuzuordnen. Lediglich 2,3 bis 15,1 % der Honigproben wiesen PA-Gehalte auf, die oberhalb der Maximalwerte lagen, die vom BfR (Analytik und Toxizität von Pyrrolizidinalkaloiden sowie eine Einschätzung des gesundheitlichen Risikos durch deren Vorkommen in Honig. Stellungnahme Nr. 038/2011 des BfR vom 11. August 2011, ergänzt am 21. Januar 2013. Bundesinstitut für Risikobewertung [Hrsg.], Berlin: 37 S, 2013a) für unterschiedliche Verzehrgewohnheiten empfohlen werden. Aufgrund der potentiellen Humangefährdung sollten Imker und Bewirtschafter von Flächen, auf denen größere JKK-Bestände vorkommen, gemeinsam und eigenverantwortlich Maßnahmen ergreifen, um PA-Belastungen im Sommerhonig so gering wie möglich zu halten.

✉ Helge Neumann
h.neumann@lpv.de

¹ Deutscher Verband für Landschaftspflege (DVL) e.V.,
Hamburger Chaussee 25, 24220 Flintbek, Germany

² Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung,
Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau,
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Hermann-
Rodewald-Str. 9, 24118 Kiel, Germany

³ Institut für Natur- und Ressourcenschutz, Christian-
Albrechts-Universität zu Kiel, Olshausenstr. 75,
24118 Kiel, Germany

Schlüsselwörter Pyrrolizidin-Alkaloide ·
Lebensmittel · Humangefährdung · Honig

Abstract Pyrrolizidine alkaloids (PAs) are secondary plant compounds, which may be carried into honey by honey bees (*Apis mellifera*) and thus enter the human food chain. Depending on the quantity consumed, PAs are considered harmful to human health.

At present, however, there is no statutory limit for PAs in foodstuffs. Because of several hints that larger occurrences of PA-containing tansy ragwort (*Senecio jacobaea*) may be responsible for PAs in summer honeys, honey samples from regions with and without tansy ragwort from all across Schleswig-Holstein were tested for their PA content (28 individual PAs) by LC-MS/MS analysis in 2014. By including honey samples from surroundings of flower plots established on arable land, it was tested if the carry-over of PAs into honey can be reduced by “distraction feed”. Samples from regions with tansy ragwort showed significantly higher PA contents than those from regions without tansy ragwort. Flower plots had no significant influence on the PA content. PAs were detected in 53.5 % of the 86 honey samples investigated. The mean PA value of PA-positive honeys was much higher than the median value since the sample comprised only few high and many low values. 28.6 % of the detected PAs were not from *Senecio* species, but from the Borage family (Boraginaceae) or Hemp Agrimony (*Eupatorium cannabinum*). In 2.3–15.1 % of the samples the limit value recommended by the BfR (Analytik und Toxizität von Pyrrolizidinalkaloiden sowie eine Einschätzung des gesundheitlichen Risikos durch deren Vorkommen in Honig. Stellungnahme Nr. 038/2011 des BfR vom 11. August 2011, ergänzt am 21. Januar 2013. Bundesinstitut für Risikobewertung [Hrsg.], Berlin: 37 S, 2013a) for different eating habits was exceeded. Because of the potential risk to human health, beekeepers and users of land with larger occurrences of tansy ragwort should take joint measures to keep the PA load in summer honeys as low as possible.

Keywords Pyrrolizidine alkaloids · Foods · Human risk · Honey

1 Einleitung

Pyrrolizidin-Alkaloide (PAs) sind Pflanzeninhaltsstoffe, die von zahlreichen Gefäßpflanzen als Abwehrstoffe gegen Fraßfeinde gebildet werden (Smith und Culvenor 1981; Boppré 2011). Für die menschliche Gesundheit stellen PAs eine potentielle Gefährdung dar, da sie über pflanzliche Nahrungskomponenten in Lebensmittel gelangen können und in Abhängigkeit von der Aufnahmemenge die Leber schädigen (Wiedenfeld und Edgar 2011; BfR 2013a, b). Die tolerierbare Höhe des PA-Gehaltes in Nahrungsmitteln ist europaweit bisher nicht gesetzlich

geregelt (Kempf et al. 2010; BfR 2013a, b). Vorläufige behördliche Risikoabschätzungen (EFSA 2011; BfR 2013a) kommen zu dem Schluss, dass eine akute gesundheitliche Gefährdung des Menschen durch die Aufnahme von PAs zwar unwahrscheinlich, die Gesamtexposition mit PAs aus verschiedenen Lebensmitteln jedoch so niedrig wie möglich zu halten ist. Um die Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit fundierter bewerten zu können, sind weitere gezielte Forschungsarbeiten zur Nachweisanalytik sowie zum PA-Vorkommen in Lebens- und Futtermitteln erforderlich (BfR 2013a).

Eine mögliche Quelle für eine PA-Exposition des Menschen sind Honige, da PAs in diese durch Honigbienen (*Apis mellifera*) eingetragen werden können (Deinzer et al. 1977; Kempf et al. 2010, 2011; Boppré 2011; Bodi et al. 2014). Zu den Pflanzenarten, die als Quellen für PAs im Honig bekannt sind, gehört das Jakobs-Kreuzkraut (*Senecio jacobaea*) (Übersicht Kempf et al. 2010), das in Europa heimisch ist (Harper und Wood 1957) und dessen Bestände in den letzten Jahren in Deutschland (LWK und LANUV 2011; Werner 2012; LLUR und DVL 2013) sowie gesamt West- und Mitteleuropa (Übersicht Leiss 2011) zugenommen haben. Das Jakobs-Kreuzkraut gilt zwar per se nicht als bevorzugte Trachtpflanze für Honigbienen, seine Blütezeit fällt jedoch in einen Zeitraum, in dem in der Agrarlandschaft im Anschluss an die Blüte der Haupt-Frühjahrstrachten (Obstgehölze, Raps) vielfach kein alternatives geeignetes Blütenangebot besteht („Trachtloch/-lücke“, Pritsch 2007; Rosenkranz 2012). Da der natürliche PA-Gehalt Honigbienen nicht abzuschrecken scheint, können PAs somit aus dem Jakobs-Kreuzkraut in den Honig eingetragen werden (Edgar et al. 2002; Kempf et al. 2010; Reinhard 2011). *S. jacobaea* ist aufgrund seiner Ökologie in der Lage, insbesondere an Standorten mit Offenbodenstellen oder einer nur schütterten Vegetationsdecke innerhalb kurzer Zeit dominante Bestände aufzubauen (Cameron 1935). Zu den Flächen, auf denen sich das Jakobs-Kreuzkraut in Deutschland in den letzten Jahren (temporär) in großer Dichte etabliert hat, zählen u. a. Bauerwartungsland, Banketten, trittgeschädigte Pferdeweiden, Brachen, Ruderalflächen und extensiv genutzte Grünlandflächen (LWK und LANUV 2011; LLUR und DVL 2013).

In Schleswig-Holstein sind erste Hinweise auf PAs in Sommerhonigen durch Ergebnisse einzelner, privat in Auftrag gegebener Honiganalysen bekannt geworden (KN 2012; SHZ 2012). Als Ursache für die PA-Gehalte wurden Vorkommen des Jakobs-Kreuzkrautes auf Naturschutzflächen im Umfeld der Bienenstände vermutet. Diese Flächen bieten vielfach günstige

Ansiedlungsmöglichkeiten für das Kreuzkraut, da Nutzungsaufgaben (z. B. Verzicht auf Düngung und Narbenpflege, späte Mahd) eine Etablierung und Ausbreitung der Art begünstigen können (LLUR und DVL 2013).

Der Deutsche Verband für Landschaftspflege (DVL) hat in den Jahren 2013 und 2014 in Kooperation mit dem Landesverband Schleswig-Holsteinischer und Hamburger Imker e. V. in dem Pilotvorhaben „Greening für Bienen“ erprobt, wie das Nahrungsangebot für Honigbienen und andere Blüten besuchende Insekten durch eine örtliche Kooperation zwischen Imkern und Landwirten verbessert werden kann. Hauptbestandteil des Projektes war die gezielte Anlage von Blühflächen auf Äckern. Um die Bedeutung der Blühflächen für Honigbienen zu evaluieren, wurden im Jahr 2014 Honiguntersuchungen durchgeführt, in die aufgrund der o. g. Hinweise neben Pollen- auch PA-Analysen aufgenommen wurden. Um die Datenbasis zu erweitern, wurden zusätzlich Honigproben aus Gebieten mit Jakobs-Kreuzkraut-Vorkommen in die Analysen einbezogen (siehe 2.1). Die Untersuchungen hatten zum Ziel, anhand einer landesweiten Stichprobe erstmals systematisch zu ermitteln, ob und in welchem Umfang etwaige PA-Nachweise im Honig in einem Zusammenhang zu größeren Jakobs-Kreuzkraut-Vorkommen stehen. Des Weiteren wurde analysiert, ob sich durch die Anlage von Blühflächen als „Ablenkfütterung“ PA-Einträge in den Honig reduzieren lassen. Im vorliegenden Beitrag werden die Ergebnisse der Honiguntersuchungen vorgestellt

und hinsichtlich ihrer Bedeutung für den Verbraucherschutz diskutiert.

2 Material und Methoden

2.1 Auswahl der Honigproben

Aufgrund der Projektfragestellungen wurden ausschließlich Sommerhonige untersucht. 49 Honigproben stammten von Imkern, die an dem Pilotprojekt „Greening für Bienen“ teilnahmen; weitere 37 Proben wurden über den Imker-Landesverband und das „Imker-Telefon“ der Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein (SN-SH 2014, s. u.) akquiriert.

Für die statistischen Auswertungen wurden die Honigproben im Hinblick auf die o. g. Fragestellungen den Parametern a) Vorkommen von JKK-Beständen im Umfeld der Bienenstöcke (ja/nein; nach Angaben der Imker) und b) Teilnahme am „Greening für Bienen“ (Blühflächen; ja/nein) zugeordnet (Stichprobenumfänge siehe Tab. 4 Ergebnisse).

Die gemeldeten Jakobs-Kreuzkraut-Vorkommen befanden sich überwiegend (70 %) in einer Entfernung von 100 m bis 1.000 m von den Bienenstöcken (Minimum 30 m, Maximum 4.000 m). Die eingereichten Honige waren zwischen dem 17. Juni und dem 6. September geschleudert worden, wobei die Mehrzahl (76 %) der Schleudertermine im Juli lag. Wie aus Abb. 1 ersichtlich ist, stammte die Hälfte der Honigproben aus einem JKK-Umfeld.

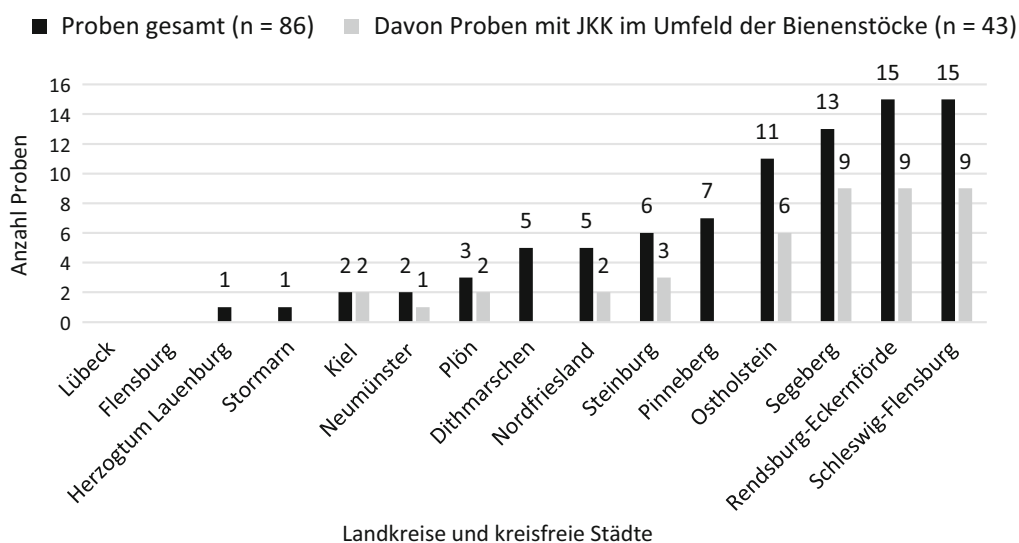


Abb. 1 Zuordnung der Honigproben zu den Landkreisen und kreisfreien Städten Schleswig-Holsteins (JKK: Jakobs-Kreuzkraut, Vorkommen nach Angaben der Imker)

Tab. 1 Zusammensetzung der für das Projekt „Greening für Bienen“ zusammengestellten Blümmischung und Bewertung des Nektar- und Pollenangebots für Honigbienen (Nektar: hellgrau, Pollen: dunkelgrau. 4: sehr gut, 3: gut, 2: mäßig, 1: gering, 0: kein Angebot, Angaben nach Pritsch (2007))

Pollen: dunkelgrau. 4: sehr gut, 3: gut, 2: mäßig, 1: gering, 0: kein Angebot, Angaben nach Pritsch (2007))

Art	deutscher Name	Anteil / %	April	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep
<i>Fagopyrum esculentum</i>	Echter Buchweizen	39,5				4 3	4 3	4 3
<i>Phacelia tanacetifolia</i>	Rainfarn-Phazelie	14			4 3	4 3	4 3	4 3
<i>Linum usitatissimum</i>	Saat-Lein	13			1 1	1 1		
<i>Helianthus annuus</i>	Einjährige Sonnenblume	11				3 3	3 3	3 3
<i>Anethum graveolens</i>	Dill	3			2 2	2 2	2 2	2 2
<i>Camelina sativa</i>	Saat-Leindotter	3		4 0	4 0	4 0	4 0	
<i>Malva mauritiana</i>	Mauretanische Malve	3			3 1	3 1	3 1	3 1
<i>Trifolium incarnatum</i>	Inkarnat-Klee	3		3 3	3 3			
<i>Ornithopus sativus</i>	Echte Serradella	2,5			3 2	3 2	3 2	
<i>Trifolium alexandrinum</i>	Alexandrin Klee	2,5			4 3	4 3	4 3	4 3
<i>Trifolium resupinatum</i>	Persischer Klee	2,5		4 3	4 3			
<i>Vicia sativa</i>	Saat-Wicke	2,5			3 1	3 1	3 1	
<i>Calendula officinalis</i>	Garten-Ringelblume	0,5			2 2	2 2	2 2	2 2

Die Zusammensetzung der Ansaatmischung der Blühflächen zielte nicht primär auf einen hohen Honigertrag ab, sondern vielmehr auf ein vielfältiges Pollenangebot sowie die Förderung weiterer Blütenbesucher im Zeitraum der o. g. „Trachtlücke“ (Tab. 1). Die Größe der Blühflächen betrug durchschnittlich 4.032 m² (Median 3.000 m², Minimum 960 m², Maximum 15.600 m²). Die Blühflächen wurden im Frühjahr 2014 auf Ackerflächen im näheren Umfeld der Bienenstände angelegt. In Einzelfällen stellten die Imker ihre Beuten auch direkt an oder in den Blühflächen auf.

2.2 Honiguntersuchungen

2.2.1 Pollen

Die Honigproben wurden durch ein nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Prüflabor auf den Gehalt an Pollen sowie PAs untersucht. Die Bestimmung und Klassifikation der Pollen erfolgte lichtmikroskopisch (DIN EN ISO/IEC 10760), wobei aufgrund der Fragestellung ein besonderes Augenmerk auf potentielle PA-Pflanzen gelegt wurde. Um Hinweise darauf zu erlangen, ob die Arten der Blümmischung (Tab. 1) eine Bedeutung als Trachtpflanzen hatten, wurden die Pollenbefunde den Pflanzenarten der

Ansaatmischung zugeordnet. Da die Pollenbestimmung lediglich auf Gattungs- oder Familienebene erfolgte, war keine Zuordnung auf Artniveau möglich. Für die bestimmten Pollentypen wurden die Pollenanteile der „Greening für Bienen“-Honigproben mit den Pollenanteilen der Proben ohne konkreten Blühflächenbezug verglichen. Aufgrund der Verteilungen der Daten kam hierfür der Mann-Whitney-U-Test zum Einsatz (SAS 9.1 proc univariate, proc npar1way). Für das Jakobs-Kreuzkraut wurde ein entsprechender Vergleich zwischen den Gruppen mit und ohne *Senecio*-Vorkommen durchgeführt (siehe 2.1).

2.2.2 Pyrrolizidin-Alkaloide

Der Gehalt an PAs im Honig wurde per LC-MS/MS bestimmt (DIN EN ISO/IEC 17025). Neben den 17 „Standard-PAs“, die vom BfR (2013b) für die Analyse von Lebensmitteln empfohlen werden, beinhalteten die Untersuchungen 11 weitere PAs (Tab. 2), die für *Senecio jacobaea* typisch sind (Hagen 2003; Macel et al. 2004; Pelser et al. 2005; Joosten et al. 2011). Neben den tertiären Aminen wurden—sofern entsprechende Standards für die Analytik erhältlich waren—auch die zugehörigen N-Oxide berücksichtigt, da in früheren Untersuchungen regelmäßig

beide Formen in Honigen nachgewiesen wurden (Dübecke et al. 2011; Edgar et al. 2011; Kempf et al. 2011). Die Bestimmungsgrenze der untersuchten PAs betrug 1 µg/kg Honig.

Die statistische Auswertung erfolgte auf Basis der jeweiligen errechneten Gesamt-PA-Gehalte. Einzel-PA-Prüfergebnisse unterhalb der Bestimmungsgrenze wurden gleich Null gesetzt. Für die Gesamtgehalte wurden zum einen der Einfluss der Blümmischung innerhalb der Gruppe mit bzw. ohne JKK sowie zum anderen der Einfluss des JKK innerhalb der Gruppe

mit bzw. ohne Blümmischung getestet (Mann-Whitney-U-Test mit Bonferroni-Holm-Korrektur, Sachs und Hedderich 2006).

Die nachgewiesenen PAs wurden auf Basis von Literaturangaben potentiellen Ursprungspflanzen (gruppen) zugeordnet (Röder et al. 1982; Rizk 1990; Dreger et al. 2009; El-Shazly und Wink 2014).

3 Ergebnisse

3.1 Pollen

Durch die Pollenanalysen wurden insgesamt 91 Pollentypen nachgewiesen, von denen 11 Typen (Tab. 3) den Ansaatarten aus der Blümmischung des Projektes „Greening für Bienen“ (Tab. 1) zugeordnet werden konnten. Für zwei Arten der Ansaatmischung—Saat-Lein und Echte Serradella—wurde kein zugehöriger Pollentyp in den Honigproben gefunden. Der Vergleich der Honigproben aus dem „Greening für Bienen“-Projekt (GfB, mit Blümmischung) mit den „Kontrollproben“ (keine Blümmischung) ergab für die Pollentypen Compositae, *Fagopyrum* und *Phacelia* signifikant höhere Pollenanteile in der GfB-Gruppe ($p < 0,05$, Mann-Whitney-U-Test). Für alle anderen Pollentypen der Ansaatmischung (Tab. 3) ließen sich keine signifikanten Unterschiede nachweisen ($p \geq 0,05$).

Hinweise auf das Jakobs-Kreuzkraut lieferten die Pollenbefunde lediglich auf der systematischen Ebene der Familie durch Nachweise des Pollentyps Compositae, für den jedoch kein signifikanter Einfluss des JKK-Umfelds vorlag ($p \geq 0,05$).

Tab. 2 In den Honiguntersuchungen geprüfte Pyrrolizidin-Alkaloide (PAs)

Nr.	PAs nach BfR (2013b)	Nr.	Zusätzliche PAs
1	Echimidin	18	(Z)-Erucifolin
2	Heliotrin	19	(Z)-Erucifolin- <i>N</i> -oxid
3	Heliotrin- <i>N</i> -oxid	20	Echimidin- <i>N</i> -oxid
4	Intermedin	21	Europin
5	Lasiocarpin	22	Europin- <i>N</i> -oxid
6	Lasiocarpin- <i>N</i> -oxid	23	Jacobin
7	Lycopsamin	24	Jacobin- <i>N</i> -oxid
8	Monocrotalin	25	Jaconin
9	Monocrotalin- <i>N</i> -oxid	26	Lycopsamin- <i>N</i> -oxid
10	Retrorsin	27	Senecivernin
11	Retrorsin- <i>N</i> -oxid	28	Senecivernin- <i>N</i> -oxid
12	Senecionin		
13	Senecionin- <i>N</i> -oxid		
14	Seneciphyllin		
15	Seneciphyllin- <i>N</i> -oxid		
16	Senkirkin		
17	Trichodesmin		

Tab. 3 Zuordnung der Pollenbefunde der Honigproben ($n = 86$) zu den Arten der Blümmischung des Projektes „Greening für Bienen“ (Zusammensetzung siehe Tab. 1, T: Pollentyp)

Art Blümmischung		Pollentyp Honigprobe
<i>Fagopyrum esculentum</i>	Echter Buchweizen	Fagopyrum, Polygonaceae, Buchweizen
<i>Phacelia tanacetifolia</i>	Rainfarn-Phazelle	Phacelia-T, Hydrophyllaceae, Büschelschön (keinem Typ zuzuordnen)
<i>Linum usitatissimum</i>	Saat-Lein	(keinem Typ zuzuordnen)
<i>Helianthus annuus</i>	Einjährige Sonnenblume	Helianthus-T, Compositae, Sonnenblumen-T
<i>Anethum graveolens</i>	Dill	Umbelliferae, Doldenblütler
<i>Camelina sativa</i>	Saat-Leindotter	Cruciferae, Cruciferae, Kreuzblütler
<i>Malva mauritiana</i>	Mauretanische Malve	Malvaceae, Malvaceae, Malvengewächse
<i>Trifolium incarnatum</i>	Inkarnat-Klee	Trifolium-T, Leguminosae, Klee-T
<i>Ornithopus sativus</i>	Echte Serradella	(keinem Typ zuzuordnen)
<i>Trifolium alexandrinum</i>	Alexandrin Klee	Trifolium-T, Leguminosae, Klee-T
<i>Trifolium resupinatum</i>	Persischer Klee	Trifolium-T, Leguminosae, Klee-T
<i>Vicia sativa</i>	Saat-Wicke	Vicia-T, Leguminosae, Wicken-T
<i>Calendula officinalis</i>	Garten-Ringelblume	Compositae, Korbblütler

3.2 Pyrrolizidin-Alkaloide

53,5 % der insgesamt 86 untersuchten Honigproben wiesen PAs auf. Der Mittelwert der PA-positiven Proben liegt mit 34,4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ Honig deutlich über dem Median (6,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$), da die zu Grunde liegenden PA-Gehalte durch wenige hohe und viele sehr niedrige Werte gekennzeichnet sind (Abb. 2). In 11 (25,6 %) der 43 Proben aus Gebieten mit größeren JKK-Vorkommen konnten keine PAs nachgewiesen werden. 14 (30,4 %) der 46 PA-positiven Proben stammten aus Gebieten ohne größere JKK-Bestände. Weitere Kenngrößen zur Beschreibung der Ergebnisse der PA-Analysen sind in Tab. 4 aufgeführt.

Die Honigproben aus einem JKK-Umfeld wiesen signifikant höhere PA-Gesamtgehalte auf als die Proben ohne JKK-Bestände in der Umgebung (Tab. 5).

Unter den Honigproben aus Gebieten ohne bekannte JKK-Vorkommen wies die Gruppe der GfB-Proben (mit Blütmischung) geringere PA-Gehalte auf als die Kontrollgruppe (ohne Blütmischung).

12 (42,9 %) der insgesamt 28 untersuchten PAs wurden nicht in den Honigproben nachgewiesen (Tab. 6). In 30 (65,2 %) der 46 PA-positiven Proben traten ausschließlich PAs auf, die auf JKK (oder evtl. andere Vertreter der Gattung *Senecio*) zurückzuführen waren, während für 12 Proben (26,1 %) ausschließlich PAs nachgewiesen wurden, die in Raublattgewächsen und Gewöhnlichem Wasserdost enthalten sind. In vier Proben (8,7 %) traten Vertreter beider Gruppen auf. Die Gehalte an PAs aus Raublattgewächsen oder Wasserdost waren gegenüber den *Senecio*-spezifischen PAs vergleichsweise gering.

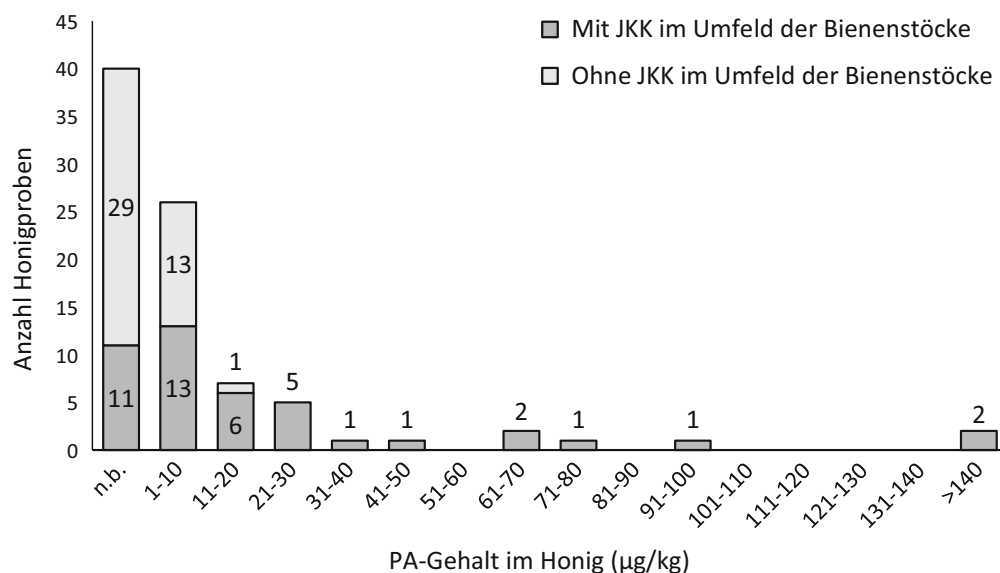


Abb. 2 Gesamt-PA-Gehalte ($\mu\text{g}/\text{kg}$) der im Jahr 2014 untersuchten Honigproben (28 untersuchte PAs, siehe Tab. 2, $n = 86$ Proben; n. b.: nicht bestimmbar, unterhalb Bestimmungsgrenze; JKK: Jakobs-Kreuzkraut, größere Bestände nach Angaben der Imker)

Tab. 4 Ergebnisse der Honiganalysen für die Gesamt-PA-Gehalte (28 untersuchte PAs, Tab. 2) (JKK: Jakobs-Kreuzkraut, GfB: Blütmischung „Greening für Bienen“ im Umfeld der Bienenstöcke, +: mit, -: ohne)

Parameter	Einheit	+JKK		-JKK		Gesamt
		-GfB	+GfB	-GfB	+GfB	
Probenumfang	n	28	15	9	34	86
Anzahl PA-positive Proben	n	21	11	7	7	46
Anteil PA-positive Proben an Probenumfang	%	75,0	73,3	77,8	20,6	53,5
Mittel PA-Gehalt PA-positive Proben	$\mu\text{g}/\text{kg}$	59,9	25,3	2,6	4,1	34,4
Mittel PA-Gehalt Probenumfang	$\mu\text{g}/\text{kg}$	44,9	18,5	2,0	0,9	18,4
Median PA-Gehalt PA-positive Proben	$\mu\text{g}/\text{kg}$	14,0	15,0	2,0	2,0	6,5
Median PA-Gehalt Probenumfang	$\mu\text{g}/\text{kg}$	6,5	5,0	2,0	0,0	1,0
Maximum	$\mu\text{g}/\text{kg}$	604,0	70,0	6,0	11,0	604,0

Tab. 5 Ergebnisse der Zweistichproben-Vergleiche (A-B) für den Einfluss des Jakobs-Kreuzkraut-(JKK)-Vorkommens innerhalb der Gruppen mit (+) und ohne (-) Blütmischung (GfB) sowie den Einfluss der Blütmischung innerhalb der Gruppen mit und ohne Jakobs-Kreuzkraut (JKK) auf den Gesamt-PA-Gehalt im Honig (28 untersuchte PAs, Tab. 2) (Mann-Whitney-U-Test, n. s.: nicht signifikant, $Pr \geq 0,05$, Probenumfänge siehe Tab. 4)

Vergleich A-B		Pr > Z
A	B	
+GfB –JKK	+GfB +JKK	0,0002
–GfB –JKK	–GfB +JKK	0,0496
+JKK –GfB	+JKK +GfB	n. s.
–JKK –GfB	–JKK +GfB	0,038

4 Diskussion

Die ermittelten PA-Gehalte sowie die Anteile PA-positiver Honige liegen in einem Wertebereich, der auch aus anderen Studien bekannt ist (Tab. 7). Beim Vergleich der Ergebnisse ist jedoch zu berücksichtigen, dass sich die angewandten Methoden teilweise stark unterscheiden. Da in die eigenen Untersuchungen gezielt Sommerhonige aus einem JKK-Umfeld einbezogen wurden, kann die Stichprobe des Jahres 2014 mit rund 50 % derartiger „Risikoproben“ (Abb. 1) nicht als repräsentativ für (Sommer-)Honige aus Schleswig-Holstein angesehen werden. In den eigenen PA-Analysen wurde zudem eine höhere

Tab. 6 Anzahl PA-positiver Proben sowie PA-Gehalte in den Honigproben (n = 86), gruppiert nach potentiellen PA-Herkunftspflanzen (siehe Text)

Pyrrolizidin-Alkaloide	Anzahl	PA-Gehalt ($\mu\text{g}/\text{kg}$)		
		Mittel	Median	Max.
Jakobs-Kreuzkraut (<i>Senecio jacobaea</i>) und weitere <i>Senecio</i>-Arten				
(Z)-Erucifolin	0	0,00	0,00	0,00
(Z)-Erucifolin-N-oxid	0	0,00	0,00	0,00
Jacobin	11	1,17	0,00	28,00
Jacobin-N-oxid	12	1,72	0,00	49,00
Jaconin	16	2,48	0,00	44,00
Retrorsin	4	0,35	0,00	9,00
Retrorsin-N-oxid	8	1,33	0,00	25,00
Senecionin	28	3,89	1,00	55,00
Senecionin-N-oxid	25	8,96	1,00	139,00
Seneciphyllin	30	5,67	2,00	98,00
Seneciphyllin-N-oxid	26	7,54	1,00	150,00
Senecivernin	6	0,46	0,00	11,00
Senecivernin-N-oxid	0	0,00	0,00	0,00
Senkirkin	0	0,00	0,00	0,00
Raublattgewächse (<i>Boraginaceae</i>) und Gewöhnlicher Wasserdost (<i>Eupatorium cannabinum</i>)				
Echimidin	1	0,02	0,00	1,00
Echimidin-N-oxid	0	0,00	0,00	0,00
Intermedin	3	0,07	0,00	1,00
Lycopsamin	4	0,20	0,00	5,00
Lycopsamin-N-oxid	14	0,54	0,00	5,00
Keine Vorkommen in heimischen Sippen bekannt				
Europin	0	0,00	0,00	0,00
Europin-N-oxid	0	0,00	0,00	0,00
Heliotrin	0	0,00	0,00	0,00
Heliotrin-N-oxid	0	0,00	0,00	0,00
Lasiocarpin	0	0,00	0,00	0,00
Lasiocarpin-N-oxid	0	0,00	0,00	0,00
Monocrotalin	0	0,00	0,00	0,00
Monocrotalin-N-oxid	0	0,00	0,00	0,00
Trichodesmin	0	0,00	0,00	0,00

Tab. 7 Literaturangaben zu Pyrrolizidin-Alkaloiden (PAs) im Honig. Studien mit einer erhöhten oder ausschließlichen Risikobeprobung (z. B. Versuchsbienenstöcke an Jakobs-Kreuzkraut-Beständen, Kempf et al. 2010) sind nicht aufgeführt

Anteil PA-positiver Proben (%)	Ø PA-Gehalt (µg/kg Honig) ^a	Maximaler PA-Gehalt (µg/kg Honig)	Proben-Anzahl (n)	Anzahl untersuchter PAs (n)	Methode	Herkunft ^b	Quelle
25	27 (8)	365	170	11	LC-MS/MS	NL u. Import	RIVM (2007)
9	56/130 ^c	120/292 ^c	216	(Σ) ^d	GC-MS	EU/nEU	Kempf et al. (2008)
94	26 (19)	267	696	10	LC-MS/MS	k. A.	Dübecke et al. (2011)
16	1260	5614	50	11	LC-MS/MS	EU/nEU	Griffin et al. (2013)
74	55 (19)	3298	13280	14/18	LC-MS/MS	k. A.	BfR (2013a)
91	21 (14)	267	1324	14/18	LC-MS/MS	k. A.	BfR (2013a)
50–77	3–23	7–172	17–31	9	LC-MS	EU/nEU	Martinello et al. (2014)
54	7	55	71	18	LC-MS/MS	Schweiz	Kast et al. (2014)
47–94 ^e	6–15 (1–11) ^e	235	87	17	ESI-MS/MS	EU/nEU	Bodi et al. (2014)
54	34 (7)	604	86	28	LC-MS/MS	Schleswig-Holstein	Diese Studie (Tab. 4)

^a Mittelwert der PA-positiven Proben; Angaben in Klammern: Median

^b k. A.: Handelsproben, bei denen keine genaue Angabe/Zuordnung möglich ist; nEU: nicht EU

^c berechnet als Retronecin/Senecionin-Äquivalent

^d Summenparameter, der alle PAs außer Otonecin- u. Supinidin-Typ-PAs erfasst

^e Angaben für Spannbreite (Minimum-Maximum) von vier Herkunftsgruppen

Anzahl an PA-Verbindungen berücksichtigt, als dies bei den anderen der in Tab. 7 aufgeführten Vergleichsstudien der Fall war. Die Analyseergebnisse aus Schleswig-Holstein bilden somit methodenbedingt potentiell höhere Wertebereiche ab, als sie in anderen Arbeiten ermittelt werden konnten.

Die vorgestellten PA-Ergebnisse deuten darauf hin, dass die im Frühjahr angelegten Blühflächen eine gewisse Funktion als „JKK-Ablenkfütterung“ hatten (Tab. 4). Dieser Effekt war jedoch statistisch nicht absicherbar (Tab. 5). Eine Ursache hierfür könnte sein, dass der Hauptblühaspekt der Ansaatmischung nach Angaben der Imker im Jahr 2014 nicht in den Zeitraum des Haupteintrages des Sommerhonigs fiel. Zudem wurden die Ansaatarten für die Blühmischung (Tab. 2) nicht allein im Hinblick auf die Ansprüche der Honigbiene ausgewählt (siehe 2.1). Pollenbefunde, die artspezifisch und signifikant der Blühmischung zugeordnet werden konnten, beschränken sich auf Buchweizen und Phazalie und damit auf diejenigen Arten, die am stärksten in der Blühmischung vertreten waren und zudem in der Imkerei als hochwertige Nektarpflanzen gelten (Tab. 1 und 3). Darüber hinaus waren die Blühflächen aufgrund der Projektvorgaben vergleichsweise klein, so dass sie insbesondere in Regionen mit größeren JKK-Vorkommen u. U. nicht ausreichend attraktiv

waren bzw. lediglich in den Gebieten ohne größere gemeldete, vermutlich jedoch vereinzelt vorkommende, JKK-Bestände eine Wirkung zeigten (Tabs. 4 und 5).

Nach den Empfehlungen des BfR (2013a) sowie der EFSA (2011) sollte eine Tageszufuhr von 0,007 µg PA pro kg Körpergewicht möglichst nicht überschritten werden. Bei einem Honigkonsum von 3 g pro Tag (durchschnittliche tägliche Verzehrmenge gemäß nationaler Verzehrstudie II, MRI 2011) entspricht dies bei einem Körpergewicht von 60/70/80 kg einem PA-Gehalt von 140/163/187 µg PA/kg Honig. Bei einem höheren Honigkonsum von z. B. 20 g (Hotel-Portionspackung) pro Tag reduzieren sich die empfohlenen Höchstgehalte bei den genannten Körpergewichten auf 21/24,5/28 µg PA/kg Honig. Das Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (MELUR) Schleswig-Holstein hat bei einer Vorab-Bewertung der PA-Ergebnisse der vorliegenden Studie auf Grundlage der Empfehlungen des BfR (2013a) den Wert von 140 µg PA/kg Honig als Referenz gewählt (MELUR 2014a). Da Körpergewicht und Honigkonsum stark variieren, empfiehlt von der Ohe (2014) auf Basis der BfR-Empfehlungen als grobe Orientierung einen Richtwert von 50 µg PA/kg Honig. Nach Kast et al. (2014) könnten 50–100 µg PA/kg Honig als Obergrenze für

die weltweite Honigproduktion akzeptabel sein, da es Hinweise darauf gibt, dass die im Honig dominanten PAs weniger toxisch sind als das PA Lasiocarpin, aus dessen Toxizität im Tierversuch die tolerierbaren Höchstwerte für den Menschen abgeleitet wurden (BfR 2013a).

Bei zwei bzw. 2,3 % der Honigproben des Projektes „Greening für Bienen“ liegen die PA-Gesamtgehalte oberhalb des Referenzwertes von 140 µg PA/kg Honig. Bei Annahme eines Richtwertes von 50 µg PA/kg erhöht sich dieser Anteil auf 5,8 %, bei dem Vergleichs-Gehalt von 21 µg PA/kg (60 kg Körpergewicht, 20 g Honig/Tag, siehe oben) auf 15,1 %. Die Honige, deren PA-Gehalte oberhalb des jeweiligen Referenzwertes liegen, stammten jeweils von Standorten, aus deren Umfeld nach den Angaben der Imker größere JKK-Vorkommen bekannt waren. Die Honigpartien, denen die beiden Proben mit den PA-Gehalten >140 µg PA/kg entnommen wurden, sind nicht in den Verkehr gelangt, da die Imker von sich aus auf eine Vermarktung verzichteten (MELUR 2014a).

Da neben den *Senecio*-Arten weitere PA-haltige Pflanzen in der Landschaft und im Siedlungsbereich vorkommen und zahlreiche Faktoren die Trachtpflanzenwahl durch Honigbienen beeinflussen können, lässt sich nicht generell ausschließen, dass PAs zumindest in geringen Konzentrationen in das „Naturprodukt“ Honig gelangen. Nach den Ergebnissen der Honiguntersuchungen des Jahres 2014 waren insgesamt 28,6 % der nachgewiesenen PA-Verbindungen nicht dem Jakobs-Kreuzkraut bzw. der Gattung *Senecio* zuzuordnen.

5 Schlussfolgerungen

Durch die Ergebnisse der Honiganalysen wird erstmals für Schleswig-Holstein belegt, dass Sommerhonige aus einem Umfeld mit größeren Jakobs-Kreuzkraut-Beständen höhere PA-Gehalte aufweisen als Honige aus Vergleichsgebieten ohne solche Vorkommen. Die absoluten Werte und deren Häufigkeitsverteilungen zeigen, dass PA-Gehalte, die nach aktuellem Kenntnisstand aus Sicht des Verbraucherschutzes als kritisch einzuschätzen sind (BfR 2013a), nur in einer geringen Anzahl an Fällen und lediglich dann auftraten, wenn im Umfeld größerer JKK-Bestände geimkert wurde (siehe oben, Abb. 2). Solange es keine gesetzlichen Regelungen für PA-Gehalte im Honig bzw. den Umgang mit dem Jakobs-Kreuzkraut (LLUR und DVL 2013) gibt, sollten Imker und Flächennutzer in derartigen Situationen

gemeinsam und eigenverantwortlich Lösungen finden, um die PA-Belastungen im Honig möglichst gering zu halten (Kempf et al. 2010; BfR 2013a).

Eine Handlungsoption für die Imkerei ist, den Sommerhonig bereits vor der JKK-Blüte abzuschleudern. Imker, die mit ihren Bienenständen wandern, können ggf. Regionen mit einem attraktiven Sommertrachtangebot aufsuchen (Kempf et al. 2010; von der Ohe 2014). Des Weiteren besteht die Option, Honig in Zweifelsfällen auf PA-Gehalte untersuchen zu lassen. Hierdurch entstehen jedoch entsprechende Kosten. Um das regionale Trachtangebot für Honigbienen zu verbessern, können Imker in Schleswig-Holstein seit dem Jahr 2015 im Rahmen des Vertragsnaturschutzes vor Ort mit Landwirten kooperieren, um gezielt „Bienenweiden“ anzulegen (MELUR 2014a). Übergeordnet sollte die Blütenvielfalt in der Agrarlandschaft durch weitere geeignete agrarpolitische Maßnahmen wieder so bereichert werden, dass Honigbienen zur Blütezeit des Jakobs-Kreuzkrautes ein ausreichendes alternatives Trachtangebot vorfinden.

Auf Seiten der Flächeneigentümer und -bewirtschafter sieht die Strategie des Landes Schleswig-Holstein vor, eine weitere Ausbreitung des Jakobs-Kreuzkrautes zu verhindern und bei Betroffenheit der lokalen Imkerei ggf. auch Maßnahmen zur Eindämmung problematischer JKK-Bestände durchzuführen (LLUR und DVL 2013; MELUR 2014b). Um besorgte Imker zentral zu beraten und zu einvernehmlichen Lösungen zu kommen, bietet die Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein seit dem Jahr 2014 mit fachlicher Unterstützung des Imker-Landesverbandes ein „Imker-Telefon“ an (SN-SH 2014). Bei Abwägungsentscheidungen zu JKK-Bekämpfungsmaßnahmen sind einzelfallbezogen deren Praktikabilität (z. B. Flächenbefahrbarkeit) und Kosten sowie bestehende (naturschutz-) rechtliche Vorgaben zu berücksichtigen (LLUR und DVL 2013).

Verbraucher/-innen können das potentielle Risiko einer PA-Exposition generell verringern, indem sie bei der Auswahl von Lebensmitteln auf Abwechslung und Vielfalt achten (BfR 2013b).

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie beruhen auf einjährigen Untersuchungen. Da die Phänologie des Blütenangebotes für Honigbienen von der Jahreswitterung beeinflusst wird (Pritsch 2007), sollte ein geeignetes Monitoring zum PA-Gehalt im Sommerhonig fortgeführt werden, um mögliche Jahreseinflüsse abbilden zu können.

Dank Das Projekt „Greening für Bienen“ wurde durch das Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und

ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein finanziert. Wir danken dem Landesverband Schleswig-Holsteinischer und Hamburger Imker e. V., dem Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR), der Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein sowie insbesondere den beteiligten Imkern und Landwirten für die gute Zusammenarbeit.

Literatur

- BfR [Hrsg.] (2013a) Analytik und Toxizität von Pyrrolizidinalkaloiden sowie eine Einschätzung des gesundheitlichen Risikos durch deren Vorkommen in Honig. Stellungnahme Nr. 038/2011 des BfR vom 11. August 2011, ergänzt am 21. Januar 2013. Bundesinstitut für Risikobewertung [Hrsg.], Berlin: 37 S
- BfR [Hrsg.] (2013b) Pyrrolizidinalkaloide in Kräutertees und Tees. Stellungnahme 018/2013 des BfR vom 5. Juli 2013. Bundesinstitut für Risikobewertung [Hrsg.], Berlin: 31 S
- Bodi D, Ronczka S, Gottschalk G, Behr N, Skibba A, Wagner M, Lahrssen-Wiederholt M, Preiss-Weigert A, These A (2014) Determination of pyrrolizidine alkaloids in tea, herbal drugs and honey. *Food Addit Contam* 31(11):1886–1895
- Boppré M (2011) The ecological context of pyrrolizidine alkaloids in food, feed and forage: an overview. *Food Addit Contam* 28(3):260–281
- Cameron E (1935) A study of the natural control of Ragwort (*Senecio jacobaea* L.). *J Ecol* 23:265–322
- Deinzer ML, Thomson PA, Burgett DM, Isaacson DL (1977) Pyrrolizidine alkaloids: their occurrence in honey from tansy ragwort (*Senecio jacobaea* L.). *Science* 195(4277):497–499
- Dreger M, Stanislawski M, Krajewska-Patan A, Mielcarek S, Mikolajczak P L, Buchwald W (2009) Pyrrolizidine alkaloids—chemistry, biosynthesis, pathway, toxicity, safety and perspectives of medicinal usage. *Herba Pol* 55(4):127–147
- Dübecke A, Beckh G, Lüllmann C (2011) Pyrrolizidine alkaloids in honey and bee pollen. *Food Addit Contam* 28(3):348–358
- Edgar JA, Roeder E, Molyneux RJ (2002) Honey from plants containing pyrrolizidine alkaloids: a potential threat to health. *J Agric Food Chem* 50(10):2719–2730
- Edgar JA, Colegate SM, Boppré M, Molyneux RJ (2011) Pyrrolizidine alkaloids in food: a spectrum of potential health consequences. *Food Addit Contam Part A* 28(3):308–324
- EFSA (2011) Scientific Opinion on Pyrrolizidine alkaloids in food and feed. European Food Safety Authority [Ed.]. EFSA J 2406:1–134
- El-Shazly A, Wink M (2014) Diversity of pyrrolizidine alkaloids in the boraginaceae structures, distribution, and biological properties. *Diversity* 6:188–282
- Griffin CT, Danaher M, Elliott CT, Kennedy DG, Furey A (2013) Detection of pyrrolizidine alkaloids in commercial honey using liquid chromatography-ion trap mass spectrometry. *Food Chem* 136:1577–1583
- Hagen J (2003) Genetisch und modifikativ bedingte Variabilität der Pyrrolizidinalkaloide in *Senecio jacobaea* L. Dissertation, Gemeinsame Naturwissenschaftliche Fakultät der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Braunschweig, p 195 S
- Harper JL, Wood WA (1957) *Senecio jacobaea* L. *J Ecol* 45(2):617–637
- Joosten L, Cheng DD, Mulder PPJ, Vrieling K, van Veen JA, Klinkhamer PGL (2011) The genotype dependent presence of pyrrolizidine alkaloids as tertiary amine in *Jacobaea vulgaris*. *Phytochemistry* 72:214–222
- Kast C, Dübecke A, Kilchenmann V, Bieri K, Böhlen M, Zoller O, Beckh G, Lüllmann C (2014) Analysis of Swiss honeys for pyrrolizidine alkaloids. *J Apic Res* 53(1):75–83
- Kempf M, Beuerle T, Böhringer M, Denner M, Trost D, von der Ohe K, Bhavanam VBR, Schreier P (2008) Pyrrolizidine alkaloids in honey: risk analysis by gas chromatography-mass spectrometry. *Mol Nutr Food Res* 52:1193–1200
- Kempf M, Schreier P, Reinhard A, Beuerle T (2010) Pyrrolizidinalkaloide in Honig und Pollen. *J Verbr Lebensm* 5:393–406
- Kempf M, Wittig M, Reinhard A, von der Ohe K, Blacquiére T, Raezke K-P, Michel R, Schreier P, Beuerle T (2011) Pyrrolizidine alkaloids in honey: comparison of analytical methods. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess* 28(3):332–347
- KN (2012) Bienen übertragen den Stoff. Gift in heimischen Honig nachgewiesen. Kieler Nachrichten vom 17. August 2012. <http://www.kn-online.de/Schleswig-Holstein/Ausdem-Land/Gift-in-heimischen-Honig-nachgewiesen> (Stand Juli 2015)
- Leiss KA (2011) Management practices for control of ragwort species. *Phytochem Rev* 10:153–163
- LLUR & DVL [Hrsg.] (2013) Umgang mit dem Jakobs-Kreuzkraut. Meiden—Dulden—Bekämpfen. Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR) & Deutscher Verband für Landschaftspflege e. V. (DVL) [Hrsg.]. 3., überarbeitete Aufl., Flintbek/Ansbach: 58 S
- LWK & LANUV [Hrsg.] (2011) Jakobskreuzkraut (*Senecio jacobaea*) Eine Giftpflanze auf dem Vormarsch. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen & Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen [Hrsg.]. 3. Aufl., Münster/Recklinghausen: 26 S
- Macel M, Vrieling K, Klinkhamer PGL (2004) Variation in pyrrolizidine alkaloid patterns of *Senecio jacobaea*. *Phytochemistry* 65:865–873
- Martinello M, Cristofoli C, Gallina A, Mutinelli F (2014) Easy and rapid method for the quantitative determination of pyrrolizidine alkaloids in honey by ultra performance liquid chromatography-mass spectrometry: an evaluation in commercial honey. *Food Control* 37:146–152
- MELUR (2014a) Landesweite Honig-Untersuchung: 98 Prozent der Proben weisen unbedenkliche Mengen von Pyrrolizidinalkaloiden auf. Pressemitteilung des Ministeriums für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein vom 26. November 2014. http://www.schleswig-holstein.de/DE/Landesregierung/V/Presse/PI/2014/1114/MELUR_141126_Honigproben.html (Stand Juli 2015)
- MELUR (2014b) Blühzeit für Jakobskreuzkraut – Umweltminister Robert Habeck: “Weitere Ausbreitung sollte so weit als möglich behindert werden.” Pressemitteilung des Ministeriums für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein vom 10. Juni 2014. http://www.schleswig-holstein.de/DE/Landesregierung/V/Presse/PI/2014/0614/MELUR_140610_JKK.html (Stand Juli 2015)
- MRI (2011) Die Nationale Verzehrsstudie II. Studie des Max-Rubner-Institutes (Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel) im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. <http://www.mri.bund.de/NationaleVerzehrsstudie> (Stand Juli 2015)

- Pelser PB, de Vos H, Theuring C, Beuerle T, Vrieling K, Hartmann T (2005) Frequent gain and loss of pyrrolizidine alkaloids in the evolution of *Senecio* section *Jacobaea* (Asteraceae). *Phytochemistry* 66:1285–1295
- Pritsch G (2007) Bienenweide. Kosmos-Verlag, Stuttgart, p 166 S
- Reinhard A (2011) Einfluss von Pyrrolizidinalkaloiden auf die Honigbiene (*Apis mellifera*). Cuvillier Verlag, TU Braunschweig, p 144 S
- RIVM (2007) Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, RIKILT Institute of Food Safety, Risicobeoordeling inzake de Aanwezigheid van Pyrrolizidine Alkaloiden in Honing, Wageningen, Netherlands. <https://www.nvwa.nl/onderwerpen/risicobeoordelingen1/bestand/22703/honing-pyrrolizidine-alkaloiden-pa-in-honing> (Stand Juli 2015)
- Rizk A-F (1990) Naturally occurring pyrrolizidine alkaloids. CRC Press, Boca Raton, p 240
- Röder E, Wiedenfeld H, Stengl P (1982) ¹³C-NMR-Daten der stereoisomeren Alkaloide aus *Symphytum officinale* L. *Arch Pharm (Weinheim)* 315:87–89
- Rosenkranz P (2012) Eintönige Agrarlandschaften schaden der Honigbiene. *Ökologie Landbau* 161:54–56
- Sachs L, Hedderich J (2006) *Angewandte Statistik—Methodensammlung* mit R. Springer, Berlin, Heidelberg, p 702 S
- SHZ (2012) Giftpflanzen sind Problem für Imker. Wachsende Verbreitung des Jakobskreuzkrauts lässt sich im Honig nachweisen. *Ostholsteiner Anzeiger* vom 3. August 2012. <http://www.shz.de/nachrichten/seite-1/giftpflanzen-sind-problem-fuer-imker-id205781.html> (Stand Juli 2015)
- Smith LW, Culvenor CCJ (1981) Plant sources of hepatotoxic pyrrolizidine alkaloids. *J Nat Prod* 44(2):129–152
- SN-SH (2014) Das Imker-Telefon. Beratung für Imker. Stiftung Naturschutz Schleswig-Holstein, Molfsee. <http://www.stiftungsland.de/home/jakobs-kreuzkraut-information/jakobs-kreuzkraut-informationen/imker-telefon/> (Stand Juli 2015)
- von der Ohe W (2014) Pyrrolizidin-Alkaloide und Honig. Sonderbeilage D.I.B. Aktuell Juni 2014, p 2 S
- Werner B (2012) Regionale Versuche zur chemischen Bekämpfung von Jakobs-Kreuzkraut (*Senecio jacobaea*). *Julius-Kühn-Archiv* 434:615–621
- Wiedenfeld H, Edgar J (2011) Toxicity of pyrrolizidine alkaloids to humans and ruminants. *Phytochem Rev* 10:137–151