

Barbara Steinhoff

Das Jakobskreuzkraut (*Jacobaea vulgaris* Gaertn.) und andere Greiskräuter auf Kulturland und Weideflächen: Vorkommen, Bedeutung und landschaftspflegerische Maßnahmen

Tansy ragwort (*Jacobaea vulgaris* Gaertn.) and other groundsels on cultivated land and pastures: occurrence, importance and landscape management measures

Kontaktanschrift

Dr. Barbara Steinhoff, Auf dem Forst 53, 53639 Königswinter, E-Mail: barbarasteinhoff@gmx.de

Zusammenfassung

Das Jakobskreuzkraut *Jacobaea vulgaris* Gaertn. (syn. *Senecio jacobaea* L.) kann wie andere Greiskräuter auch aufgrund seiner toxischen Inhaltsstoffe, der Pyrrolizidinalkaloide, zu Kontaminationen von Kulturpflanzen mit diesen Stoffen führen. Werden diese Kulturpflanzen als Lebensmittel, Futtermittel oder Arzneimittel verwendet, sind entsprechende Vorsichtsmaßnahmen bei Anbau und Ernte sowie bei der Qualitätskontrolle von Ausgangstoffen und Produkten notwendig. Zum Schutz der menschlichen Gesundheit hat der Gesetzgeber entsprechende Höchstmengen- bzw. Grenzwertregelungen geschaffen. Da Greiskräuter auch eine potenzielle Gefährdung für Weidetiere darstellen können, sind landschaftspflegerische Maßnahmen in Betracht zu ziehen, um diese Pflanzen von den Weideflächen zu entfernen. Neben der grundsätzlichen Bedeutung für die Gesunderhaltung von Mensch und Tier muss bei der Frage rigoroser Bekämpfungsmaßnahmen gegenüber Greiskräutern jedoch in jedem Einzelfall anhand einer Nutzen-Risiko-Abwägung entschieden werden, ob und welche Maßnahmen notwendig sind. Dabei müssen auch die ökologische Bedeutung der Pflanzen, die Erhaltung der Biodiversität und die Prioritäten des Naturschutzes berücksichtigt werden.

Stichwörter

Jakobskreuzkraut *Jacobaea vulgaris*, Gewöhnliches Greiskraut *Senecio vulgaris*, Pyrrolizidinalkaloide, Toxizität, Ökologische Bedeutung, Landschaftspflegerische, Maßnahmen, Jakobskrautbär *Tyria jacobaea*

Abstract

Tansy ragwort *Jacobaea vulgaris* Gaertn. (syn. *Senecio jacobaea* L.), like other groundsels, can lead to contamination of crops due to its toxic ingredients, the pyrrolizidine alkaloids. If the harvested plants are used as food, feed or medicines, appropriate precautions in the cultivation and harvesting as

well as in the quality control of the raw materials and the products are necessary. To protect human health the legislator has created respective maximum level or limit regulations. Since groundsels can also pose a potential threat to pasture livestock, landscape management measures should be considered in order to remove these plants from grazing land. In addition to the fundamental importance for the health of humans and animals, however, with regard to the question of rigorous control measures against groundsels, it must be decided case-by-case on the basis of a benefit-risk assessment whether and which measures are necessary. Thereby the ecological importance of the plants, the preservation of biodiversity and the priorities of nature conservation must also be taken into account.

Keywords

Tansy ragwort *Jacobaea vulgaris*, Common groundsel *Senecio vulgaris*, Pyrrolizidine alkaloids, Toxicity, Ecological importance, Landscape management measures, Cinnabar moth *Tyria jacobaea*

Einleitung

Das Jakobskreuzkraut (*Jacobaea vulgaris* Gaertn. syn. *Senecio jacobaea* L.) ist in Mitteleuropa weit verbreitet. Man findet es auf Wiesen und an Wegrändern, aber auch als Unkraut auf landwirtschaftlich und gartenbaulich genutzten Flächen. Es enthält als toxische Substanzen Pyrrolizidinalkaloide (PA), deren Aufnahme für Mensch und Tier zu gesundheitlichen Schädigungen führen kann. Dies trifft auch auf andere weit verbreitete Arten der Gattung *Senecio* zu, wie beispielsweise das Gewöhnliche Greiskraut (*Senecio vulgaris* L.) oder das Schmalblättrige Greiskraut (*Senecio inaequidens* DC). Daraus entstehen Fragen nach Konsequenzen für Kulturpflanzen, die als Lebensmittel oder Arzneimittel genutzt werden, wenn es bei unbeabsichtigter Miternte des Jakobskreuzkrautes oder verwandter Arten zu Kontaminationen mit den enthaltenen toxischen Alkaloiden kommen kann. Auch für Weidetiere



(c) Die Autorin 2022

Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) zur Verfügung gestellt wird (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).

Zur Veröffentlichung eingereicht/angenommen: 13. Dezember 2021/8. April 2022

können Greiskräuter eine potenzielle Gefährdung darstellen, wenn diese entweder beim Weiden mit aufgenommen oder im Heu verfüttert werden. Diese Problemfelder sollen im Folgenden näher beleuchtet und Maßnahmen aufgezeigt werden, durch welche im Einzelnen eine gesundheitliche Gefährdung von Verbrauchern durch möglicherweise verunreinigte Produkte, aber auch eine Gefährdung von Weidetieren durch Bestände des Jakobskreuzkrautes vermieden werden können.

Dies geschieht auch unter dem Aspekt der ökologischen Bedeutung, denn Jakobskreuzkraut stellt beispielsweise für Bienen und andere Insekten eine Nahrungsquelle dar. Es soll aufgezeigt werden, dass Maßnahmen zur Vermeidung von Kontaminationen eine komplexere Bewertung erfordern, und schließlich wird ein besonderes Augenmerk auf Flächen im Rhein-Sieg-Kreis und die dortigen landschaftspflegerischen Maßnahmen gerichtet.

Ausgewählte Vertreter der Gattungen *Senecio* und *Jacobaea*

Greiskräuter gehören botanisch zu der weltweit über 1000 Arten umfassenden Gattung *Senecio* L., von der einige Autoren die Gattung *Jacobaea* Mill. abgespalten haben. Beide gehören zur Tribus Senecioneae Cass. in der Unterfamilie Asteroideae (Cass.) Lindl. und der Familie Asteraceae Bercht. & J. Presl (Korbblütler). Der Name *Senecio* geht auf lateinisch *Senex*, der Greis, zurück und weist auf den weißen Haarschopf der Früchte hin. Der Name Kreuzkraut ist anscheinend durch eine sekundäre Veränderung zustande gekommen. Greiskräuter breiten sich stark durch die schnellheranreifenden Früchtchen aus, die den für Arten der Familie Asteraceae typischen Haarkranz (Pappus) tragen, welcher zur schnellen Verbreitung durch den Wind beiträgt.

Das Jakobskreuzkraut (*Jacobaea vulgaris* Gaertn. syn. *Senecio jacobaea* L.) (Abb. 1) beginnt seine Blütezeit um den 25. Juli (Jacobi) herum und blüht etwa bis September. Botanisch ist die weit verbreitete, 30 bis 100 cm hohe Pflanze gekennzeichnet durch einen braunrot bis violetten, gerillten, anfangs

spinnwebig wolligen und später verkahlenden Stängel mit fiederspaltigen und unregelmäßig kerbig eingeschnittenen, gelappten oder gezähnten Laubblättern. Die Grundblätter sind leierförmig bis fiederspaltig und zur Blütezeit meist verwelkt, die oberen Blätter öhrchenartig stängelumfassend. Der Stängel trägt goldgelbe, 15 bis 20 mm breite, in endständigen flachen Dolden angeordnete Blütenköpfe, von denen jeder 60 bis 80 Röhrenblüten und zumeist 13 abstehende Zungenblüten umfasst. Die Blüten sind außen von einem einreihigen, an der Spitze schwarzen zylindrischen Hüllkelch umgeben. Die Früchte sind undeutlich längsriefig, die der Röhrenblüten dicht kurzhaarig und die der Randblüten kahl. Der Pappus ist zur Blütezeit so lang wie die Kronröhre der Röhrenblüten und zur Fruchtzeit doppelt so lang wie die Frucht. Kreuzungen mit dem Raukenblättrigen Greiskraut (*Jacobaea erucifolia* (L.) G. GAERTN. & AL. syn. *Senecio erucifolius* L.) sind möglich (Gessner, 1953; LLUR, 2013; Zehm, 2017; Reichling et al., 2019).

Jakobskreuzkraut kommt auf ungepflegten Weiden und Trockenwiesen, auf grasigen Böschungen und an Wald- und Wegrändern vor. Mit einem verstärkten Auftreten ist überall dort zu rechnen, wo Vegetationslücken bestehen bzw. eine geringe Vegetationsbedeckung eine Keimung zulässt (Gessner, 1953; LLUR, 2013; Reichling et al., 2019). Neben der generativen Vermehrung kann die ursprünglich zweijährige Pflanze eine Staude bilden, wenn sich z. B. bei unvollständiger Bekämpfung aus Wurzelknospen Tochterpflanzen bilden. Ein Temperaturanstieg infolge des Klimawandels kann zudem ihre Ausbreitung fördern (LLUR, 2013).

Das Gewöhnliche Greiskraut (*Senecio vulgaris* L.) (Abb. 2) unterscheidet sich von anderen einheimischen Greiskrautarten durch die fehlenden Zungenblüten der kurz gestielten Blütenköpfchen. Diese Art wird 15 bis 30 cm hoch und blüht von März bis Oktober/November, wobei sie pro Jahr mehrere Generationen hervorbringen kann. Die Pflanze ist bei ästigem rötlichem Stängel unregelmäßig verzweigt, ihre hellgrünen Blätter sind stark gezähnt, buchtig gelappt bis fiederspaltig, wobei die oberen geöhrt sind. Die Hülle der Blüten ist walzenförmig, 8 bis 10 mm lang mit mehreren 1 bis 2 mm langen



Abb. 1. Jakobskreuzkraut (*Jacobaea vulgaris* Gaertn., syn. *Senecio jacobaea* L.), Quelle: Dr. Barbara Steinhoff 2021



Abb. 2. Gewöhnliches Kreuzkraut (*Senecio vulgaris* L.), Quelle: Susanne Wahl, Pharmaplant Arznei- und Gewürzpflanzen Forschungs- und Saatzucht GmbH, Artern

meist schwärzlichen Außenhüllblättern. Die Früchte sind 1,5 bis 2 mm lang und dicht flaumhaarig, der Pappus ist fast so lang wie die Röhrenblüten zur Fruchtzeit, rein weiß und fast dreimal so lang wie die Frucht. Die Pflanze kommt auf Schuttplätzen, Äckern, Brachflächen, in Weinbergen, Gärten und an Wegen vor und gilt als nahezu unausrottbar (Gessner, 1953; Reichling et al., 2019).

Als weitere Art ist das Schmalblättrige Greiskraut (*Senecio inaequidens* DC.) (Abb. 3) erwähnenswert, das ursprünglich aus Südafrika stammt und möglicherweise durch den Verkauf von Schafswolle nach Mitteleuropa verbracht wurde, wo es heute als potenziell invasive Art eingestuft wird. Es wird 30 bis 60 cm hoch und hat linealisch bis schmal-lanzettliche, ca. 1 bis 5 mm breite und 6 cm lange Laubblätter, die fein und scharf gezähnt sind und am Grund geöhrt sind. Der Blütenstand ist stark verzweigt mit etwa 2 cm großen Blütenköpfchen, die meist 10 bis 13 gelbe Zungenblüten besitzen. Man findet es auf Ruderalflächen und an Wegrändern. Das Schmalblättrige Greiskraut hat zwei Blühphasen, von Mai bis Juli und von September bis Dezember (Starfinger & Kowarik, 2005; LLUR, 2013).

Aus Schleswig-Holstein wird berichtet, dass diese Art besonders im Herbst durch üppig blühende Massenbestände an Straßenrändern auffällt („Autobahngold“). Offensichtlich beruht die starke Verbreitung auf Mengen an Samen, die durch das Anhaften an Fahrzeugen und Zügen entlang von Autobahnen und Bahnschienen verbreitet werden (LLUR, 2013).

Bedeutung für Insekten

Bienen sind wie alle Insekten unersetzlich für unsere Ökosysteme. Durch ihre Leistung als Bestäuber zahlreicher Wild- und Kulturpflanzen tragen sie maßgeblich dazu bei, dass die Pflanzenwelt in ihrer Vielfalt erhalten bleibt. Neben anderen heimischen Pflanzen gehört auch das Jakobskreuzkraut als Teil der gewachsenen mitteleuropäischen Lebensgemeinschaften zu den für Insekten und damit auch für Bienen wichtigen Blütenpflanzen. Je weiter dieses verbreitet ist und je geringer im Vergleich dazu der Anteil an anderen Blütenpflanzen ist,

umso größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass auch das Jakobskreuzkraut von Bienen besucht wird (DVL, 2021).

Neben seiner Bedeutung für eine Vielzahl an Blütenbesuchern stellen die Greiskräuter auch eine Nahrungsquelle für eine Reihe an Herbivoren dar. Hierzu gehört der Jakobskrautbär (*Tyria jacobaeae* L.) (Abb. 4), auch Karminbär oder Zinnobermotte genannt, ein Schmetterling (Nachtfalter) aus der Unterfamilie der Bärenspinner (Arctiinae). Dessen bis zu 3 cm lange Raupe, wegen ihrer schwarzgelben Färbung auch als Borussia-Raupe bezeichnet, frisst mit Vorliebe die Blätter des Jakobskreuzkrautes. Dabei nimmt sie die toxischen PA auf, lagert sie ein und wandelt sie zu N-Oxiden um (Zehm, 2017; Leiss, 2011). Der Jakobskrautbär zählt damit zu den spezialisierten Pflanzenfressern, die eine Anpassung an die PA ihrer Wirtspflanze entwickelt haben. Für sie sind die Alkaloide ein Signalstoff, durch den sie die Pflanze finden und zur Eiablage nutzen können. Dabei wurde gezeigt, dass nicht alle PA die Eiablage gleichermaßen stimulieren, sondern beispielsweise Senecionin und Seneciphyllin eine höhere Attraktivität bewirken. Anders als die „Spezialisten“ werden „Generalisten“ unter den Herbivoren durch PA abgeschreckt und meiden die Aufnahme alkaloidreicher junger Greiskrautblätter. Aufgrund unterschiedlicher Selektionen durch die „Spezialisten“ kann die genetische Vielfalt in Konzentration und Zusammensetzung der PA bei den Greiskraut-Arten aufrechterhalten werden (Macel, 2011).

Verschiedene Flohkäfer wie beispielsweise *Longitarsus jacobaeae* (Waterhouse) und *L. flavicornis* (Stephens) ernähren sich im Winter und Frühling von Wurzeln und Blattstielen des Jakobskreuzkrauts und können PA als N-Oxide speichern. Daneben dient die Pflanze auch anderen Insekten wie den zu den Motten zählenden Arten *Cochylys atricapitana* (Stephens) und *Platyptilia isodactyla* (Zeller) als Nahrung. Die Kreuzkraut-Saatfliege *Pegohylemia seneciella* (Meade) legt ihre Eier in die Blüten des Jakobskreuzkrauts, und die sich entwi-

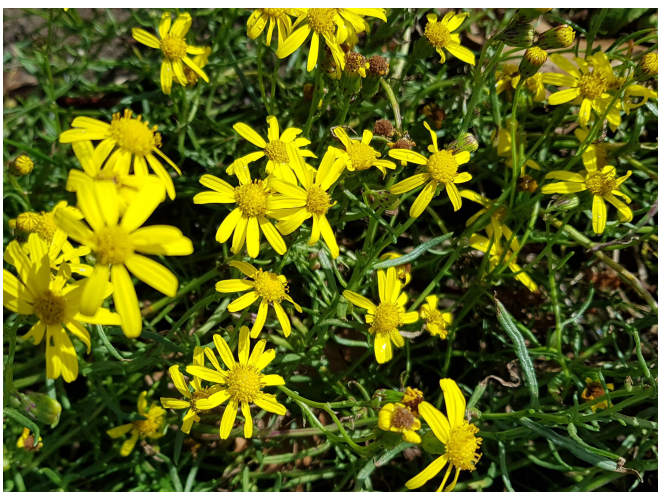


Abb. 3. Schmalblättriges Greiskraut (*Senecio inaequidens* DC.), Quelle: Dr. Barbara Steinhoff 2021



Abb. 4. Raupe des Jakobskrautbärs (*Tyria jacobaeae* L.), Quelle: Dr. Barbara Steinhoff 2021

ckelnden Larven fressen die noch unreifen Samen (McLaren et al., 2000; Leiss, 2011).

Inhaltsstoffe

Eine große Anzahl der Arten in den Gattungen *Senecio* und *Jacobaea* enthalten die für diese Gattungen typischen Pyrrolizidinalkaloide (PA). Diese sind seit längerem Gegenstand toxikologischer Forschungsarbeiten. Es handelt sich um vom Grundkörper des Necin abgeleitete Esteralkaloide, die als Monoester oder offene oder zyklische Diester vorkommen. Die Necine leiten sich von bizyklischen Aminoalkoholen ab und diese wiederum von den Polyaminen Putrescin (CAS Nr. 110-60-1) und Spermidin. Bekannte Vertreter der Greiskraut-Alkaloide sind Senecionin (CAS Nr. 130-01-8) und Seneciophyllin (CAS Nr. 480-81-9). Weitere Inhaltsstoffe der Greiskräuter sind u. a. verschiedene Terpene und Flavonoide (Schramm et al., 2019; HMPC, 2021; Reichling et al., 2019).

Entsprechend ihrem Alkaloidvorkommen sind beim Jakobskreuzkraut zwei Chemotypen zu unterscheiden, der Jacobin-Typ und der Erucifolin-Typ (Witte et al., 1992; Macel et al., 2004; Reichling et al., 2019). In den Sommermonaten von Mai bis Ende Juni wurden die höchsten PA-Gehalte gemessen (Reichling et al., 2019). Um die Jahreszeit-abhängige Verteilung der PA in Jakobskreuzkraut näher zu untersuchen, wurden in einer Studie in Dänemark von Dezember 2017 bis Dezember 2018 die PA-Konzentrationen in der Pflanze ermittelt. Während der Vegetationsperiode wurde ein Anstieg mit einer maximalen Konzentration zwischen 3,1 und 6,6 g/kg Trockenmasse von der Blütezeit bis zum Beginn des Pflanzensterbens beobachtet. Die höchsten Konzentrationen wurden für Jacobin-N-oxid mit 1330 mg/kg, Jacobin (CAS Nr. 6870-67-3) mit 906 mg/kg und Senecionin-N-oxid (CAS Nr. 13268-67-2) mit 364 mg/kg gemessen. Im Hochsommer wurden im Vergleich zum Winter 1000-mal höhere PA-Konzentrationen beobachtet, was mit einer Reaktion der Pflanze auf den Pflanzenfresserdruck in der Sommerweidezeit erklärt wurde (Hama & Strobel, 2021). Diese Konzentrationen liegen in der Größenordnung, die zuvor für die unterschiedlichen Chemotypen in Pflanzen u. a. aus Dänemark und den Niederlanden gemessen wurden (Macel et al., 2004).

In einer 2015 durchgeführten Studie an 367 Pflanzen aus 27 überwiegend aus Norddeutschland stammenden Jakobskreuzkraut- Populationen wurden insgesamt 98 verschiedene Alkaloide und erhebliche Unterschiede in der PA-Zusammensetzung zwischen den Populationen, aber kein signifikanter Unterschied in den PA-Gehalten nachgewiesen. Die Autoren schlussfolgerten aus ihren Untersuchungen, dass die Existenz dieser Vielfalt in der PA-Zusammensetzung in verschiedenen Chemotypen das Ergebnis einer breiten Wechselwirkung mit der Umwelt ist (Jung et al., 2020).

Das Gewöhnliche Greiskraut enthält Senecionin und Seneciophyllin als Hauptalkaloide, wobei es Senecionin-reiche und Seneciophyllin-reiche Populationen gibt, daneben weitere PA sowie Flavonoide und Terpene (Reichling et al., 2019). In Feldversuchen angebaute *Senecio-vulgaris*-Pflanzen hatten Gehalte der Alkaloide Retrorsin (CAS Nr. 480-54-6), Seneciophyllin, Senecivernin (CAS Nr. 72755-25-0), Senecionin, Senkirkin

(CAS Nr. 231818-5) und vier ihrer N-Oxide im jahreszeitlichen Verlauf in Größenordnungen von etwa 1600 mg/kg bis nahezu 5000 mg/kg Trockenmasse. Ein leichter Anstieg der PA-Konzentration war bis zur vollen Blüte zu verzeichnen, dem eine Abnahme zum Ende des Lebenszyklus folgte. Die erhöhte PA-Menge während der Entwicklung der Pflanzen korrelierte mit einem Anstieg der Biomasse bei nahezu konstanten PA-Konzentrationen, da sowohl die oberirdische Biomasse (Stängel, Blätter, Blüten) als auch die der Wurzeln zunimmt, in denen die Synthese der Alkaloide stattfindet. Auch veränderte sich während der Entwicklung die Konzentration verschiedener Alkaloide wie Retrorsin-N-Oxid (CAS Nr. 15503-86-3) und Senecionin deutlich (Flade et al., 2019).

In einer in China durchgeführten Studie wurden PA-Zusammensetzung und Konzentrationen in Trieb- und Wurzelproben von *Senecio vulgaris* aus einheimischen und invasiven Populationen bestimmt. Es wurden 20 Alkaloide identifiziert, von denen in den Wurzeln Senecionin, Senecionin-N-Oxid, Integerrimin-N-oxid und Seneciophyllin-N-Oxid (CAS Nr. 38710-26-8) dominierten, in den Trieben zusätzlich auch Retrorsin-N-Oxid und Spartioidin-N-Oxid sowie zwei nicht identifizierte PA. Die Wurzeln besaßen eine geringere PA-Diversität, aber eine höhere PA-Gesamtkonzentration als die Triebe (Cheng et al., 2017).

Toxikologie

Eine längerfristige Exposition gegenüber PA schädigt in erster Linie Leber und Lunge. Zeichen einer Vergiftung mit PA bestehen in Gefäßverschlüssen in diesen Organen, Leberzirrhose und weiteren Leberschädigungen; auch genotoxische und kanzerogene Effekte sind bekannt (Fu et al., 2004; He et al., 2019; Ebmeyer et al., 2020; HMPC, 2021). Als am meisten toxisch werden die zyklischen Diester der 1,2-ungesättigten PA angesehen, weniger die nicht-zyklischen Diester und am wenigsten die Monoester. Gesättigte PA sind offensichtlich nicht toxisch (Stegelmeier et al., 2016; Moreira et al., 2018; HMPC, 2021). Die metabolische Aktivierung von PA wird in der Leber durch Cytochrom P₄₅₀ katalysiert und erzeugt reaktive Dehydro-Metaboliten mit einem Pyrrol-Gerüst. Diese bilden durch Bindung an DNA, Proteine und Aminosäuren Addukte, die eine Hepatotoxizität induzieren (Stegelmeier et al., 1999; Ruan et al., 2014; Ma et al., 2018a; b). Es wird angenommen, dass auch eine chronische Exposition gegenüber niedrigen Mengen toxischer PA zur Akkumulation der Protein-Addukte und damit zu Leberschäden führen kann (HMPC, 2021). Da PA nach Aufnahme schnell metabolisiert und ausgeschieden werden, verbleibt innerhalb weniger Stunden nur ein relativ kleiner Teil der Menge im Körper, ein Großteil davon in Form von an Gewebebestandteile gebundenen Metaboliten. Demnach wurde es für unwahrscheinlich erachtet, dass sich nach einem Tag noch eine signifikante Menge an unverändertem Alkaloid im Körper befindet (HMPC, 2021).

Auf der Basis von *in vitro*- und *in vivo*-Studien wurden Aussagen zur relativen Potenz ausgewählter PA-Kongenere, die verschiedene Strukturklassen (Lasiocarpin (CAS Nr. 303-34-4), Riddelliin, Retrorsin, Senecionin, Seneciophyllin, Heliotropin, Echimidin (CAS Nr. 520-68-3), Lycopsamin (CAS Nr. 10285-07-1), Europine (CAS Nr. 570-19-4), Indicin) repräsentieren, hin-

sichtlich ihrer Toxizität abgeleitet (Merz & Schrenk, 2016). Die Ergebnisse stützen die Hypothese, dass verschiedene PA signifikant unterschiedliche toxikologische Potenzen besitzen, so dass jeweils "Relative Potency Factors" abgeleitet werden können (Schrenk et al., 2020; Schrenk et al., 2021).

Da auch bei geringen PA-Gehalten von Lebensmitteln eine Exposition gegenüber toxischen PA zu erwarten sei und infolgedessen die Gefahr des Auftretens langsam fortschreitender chronischer Erkrankungen wie Krebs, Leberzirrhose und pulmonaler Hypertonie bestehe, empfahlen die Behörden, die ernährungsbedingte Exposition gegenüber toxischen, ungesättigten PAs so gering wie praktisch erreichbar zu halten (ALARA-Prinzip, „as low as reasonably achievable“) (EFSA, 2007; HMPC, 2021).

Im Juni 2017 publizierte die europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) eine aktuelle Bewertung des kanzerogenen Risikos von PA und legte eine neue Referenzdosis von 237 µg/kg Körpergewicht (KG) pro Tag für die chronische Exposition fest. Die Beurteilung erfolgte auf der Basis der Inzidenz von Hämangiosarkomen der Leber weiblicher Ratten nach Exposition mit Riddelliin, dem in dieser Studie als am meisten toxisch angesehenen Alkaloid (EFSA, 2017). Im Dezember 2020 wurden auf EU-Ebene produktbezogene Höchstmengen für den Lebensmittelbereich u. a. für Kräutertees, Kräuter und pflanzliche Nahrungsergänzungsmittel (bezogen auf das getrocknete Erzeugnis) innerhalb der europäischen Kontaminantenverordnung Nr. 1881/2006 festgesetzt (Verordnung, 2020):

- Kräutertees 200 µg/kg (Ausnahme Rotbusch, Anis, Zitronenmelisse, Kamille, Thymian, Pfefferminze und Zitronenverbene 400 µg/kg),
- Nahrungsergänzungsmittel mit pflanzlichen Inhaltsstoffen sowie getrocknete Kräuter 400 µg/kg (Ausnahme z. B. Borretsch und Oregano 1000 µg/kg).

Gefährdung für Weidetiere

Aufgrund des weit verbreiteten Vorkommens von Greiskräutern auf Wiesen und Weiden besteht für Weidetiere wie Pferde, Rinder und Schafe eine potenzielle Gefährdung durch die Aufnahme dieser Pflanzen mit ihrer natürlichen Nahrung. Pferde und Rinder reagieren hierbei besonders empfindlich gegenüber einer solchen Aufnahme; Schweine, Ziegen und Schafe scheinen dagegen widerstandsfähiger zu sein (Gessner, 1953; Wiedenfeld & Edgar, 2011; Reichling et al., 2019).

Vergiftungen sind bei allen Weidetieren gekennzeichnet durch Appetitlosigkeit, Durchfall, Gewichtsverlust und Leberschädigungen bis hin zu Lebernekrose und Leberversagen (Gessner, 1953; EFSA, 2007; Reichling et al., 2019). Bei Pferden wurden als Symptome nachlassende Kondition, Gewichtsverlust aufgrund von Futterverweigerung, Koliken, Verstopfung oder blutiger Durchfall, häufiges Gähnen, zielloses Wandern („walking disease“), unkoordinierte Bewegungen, Lecksucht, Photosensibilität, Gelbfärbung der Lidbindehäute, Blindheit sowie hepatisches Koma beobachtet; bei Rindern eine reduzierte Milchleistung, Futterverweigerung, rapider Gewichtsverlust, struppiges Fell, Photosensibilität, fehlende

Pansenmotorik, wässriger oder blutiger Durchfall, Lethargie und plötzliche Aufregungszustände (LLUR, 2013).

Da bei Pferden die Symptome einer chronischen Vergiftung z. T. erst Wochen bis Monate nach der Exposition auftreten (Mendel et al., 1988), werden diese häufig nicht mehr mit der Aufnahme von Jakobskreuzkraut in Verbindung gebracht (LLUR, 2013). Um die Symptomatik von PA-Vergiftungen zu untersuchen, wurde sechs Pferden täglich eine Suspension der ebenfalls PA-haltigen Hundszunge (*Cynoglossum officinale* L.) mit 5 oder 15 mg/kg Körpergewicht (KG) Gesamt-PA über 14 Tage mittels Schlundsonde verabreicht, zwei Pferde erhielten Luzerne als Kontrolle. Innerhalb von 7 Tagen entwickelten die mit 15 mg/kg PA behandelten Pferde eine schwere Lebererkrankung. Die mit 5 mg/kg PA behandelten Pferde waren mehrere Wochen nach der PA-Gabe depressiv und entwickelten eine periportale hepatozelluläre Nekrose mit Fibrose. Aus den fortdauernden histologischen Veränderungen wurde eine nicht zu unterschätzende Gefährdung der Tiere auch bei Aufnahme auch geringerer Mengen PA-haltiger Pflanzen geschlossen (Stegelmeier et al., 1996). Ähnliche Wirkungen waren in einer früheren Studie an neun Pferden beobachtet worden, die über mehrere Monate mit 10 % gewöhnlichem Greiskraut versetztes Luzernenheu als Futter erhielten, was einer gesamten Aufnahmemenge von 233 mg PA pro kg KG und damit etwa 140 g PA umgerechnet auf ein 600 kg schweres Pferd entsprach (Mendel et al., 1988).

Die kumulierte letale Dosis für ein Pferd liegt bei einem Frischgewicht von 40 – 80 g Greiskraut pro kg KG, d. h. ein Pferd mit 600 kg Gewicht müsste 24 – 48 kg frisches Jakobskreuzkraut fressen, um die tödliche Aufnahmemenge zu erreichen. Bei einem Rind beträgt die kumulierte letale Dosis 140 g Frischgewicht pro kg KG, d. h. bei einer 700 kg schweren Kuh wären dies 98 kg frisches Jakobskreuzkraut. Diese Menge wird bei 1 % im Heu in 3 Monaten erreicht, bei 10 % im Heu in 20 Tagen. Für Kälber wurde eine letale Dosis von 5,8 % ihres Gewichts an getrocknetem Jakobskreuzkraut ermittelt. Beim Schaf beträgt die kumulierte letale Dosis mehr als 2 kg frisches Greiskraut pro kg KG; bei 50 kg Gewicht müsste es demnach mehr als 100 kg Kraut aufnehmen, um eine tödliche Menge zu erreichen. Ähnlich verhält es sich bei der Ziege, die bei ebenfalls 50 kg Gewicht und einer letalen Dosis von 1,25 – 4 kg Frischgewicht pro kg KG 62,5 – 200 kg frisches Jakobskreuzkraut fressen müsste (Goeger et al., 1982; Craig et al., 1991; EFSA, 2007; LLUR, 2013).

Normalerweise meiden Weidetiere PA-haltige Pflanzen aufgrund ihres bitteren Geschmacks und unterscheiden im Regelfall giftige Unkräuter von Gräsern und Klee. Daher ist das Risiko einer PA-Aufnahme durch Beweidung eher gering, solange die Flächen nicht überweidet sind. Wenn Greiskräuter jedoch versehentlich geerntet und als Untermischung in Heu oder Silage oder auch in Form von Pellets als Futter gegeben werden, sind sie für die Tiere nicht mehr erkennbar und können so aufgenommen werden.

In einer niederländischen Studie an 147 Proben von Tierfutter im Zeitraum 2006–2008 wurden in 31 Proben Spuren von PA nachgewiesen; in neun Proben überstieg der PA-Gesamtgehalt 100 µg/kg, in drei Fällen 1 mg/kg. Von 31 analysierten Luzerneproben enthielten 23 (74 %) mindestens Spuren

eines oder mehrerer PA. In 16 Proben wurden Mengen zwischen 10 und 100 µg/kg gefunden, in vier Proben zwischen 100 und 1000 µg/kg und in drei Proben jeweils 3,5, 3,8 und 5,4 mg/kg. Die Konzentration in den Luzerneproben betrug durchschnittlich 455 µg/kg, was mindestens dem 30-fachen der durchschnittlichen Konzentration für Silage, getrocknetes Gras und Heu entspricht. Die Studie kam zu dem Schluss, dass insbesondere das Gewöhnliche Greiskraut, aber auch andere Greiskrautarten, ein großes Risiko für die Kontamination von Tierfutter, besonders von Luzerne darstellen (Mulder et al., 2009). Angesichts dieses Risikos wurde empfohlen, die Landwirte auf die Gefahr für Weidetiere hinzuweisen und zu verpflichten, ihre Weiden und Wiesen auf PA-Pflanzen wie Greiskräuter zu kontrollieren sowie Anbau und Verarbeitung von Futterpflanzen entsprechend zu überwachen (Mulder et al., 2009; Wiedenfeld & Edgar, 2011).

In einer weiteren Studie wurden 115 Proben von Grassilage aus verschiedenen Landkreisen in Bayern auf ihre Gehalte an PA und deren N-Oxiden analysiert. In 18 % der Proben wurden eine oder mehrere dieser analysierten Verbindungen gefunden. Der höchste Wert, berechnet als Summe von Seneciphyllin und Senecionin, betrug 30 µg/kg Trockenmasse, weitere Alkaloide kamen in geringeren Mengen vor. Obwohl die gemessenen Mengen als niedrig angesehen wurden, ergaben sich Positivbefunde für fast jede fünfte Probe. Bei Annahme eines durchschnittlichen Futterverbrauchs einer 600 kg schweren Kuh von 15 kg Trockenmasse pro Tag und einer maximalen PA-Menge von 30 µg/kg wurde eine tägliche Gesamtaufnahme von ca. 0,45 mg/Tier errechnet. Angesichts der bislang ungeklärten Frage, ob PA in nennenswertem Umfang abgebaut werden und dadurch eine Entgiftung von kontaminierter Grassilage eintritt, wurde die Verwendung von Silage aus Grünland, das PA-haltige Pflanzen enthält, als Sicherheitsrisiko im Hinblick auf die Tiergesundheit angesehen (Gottschalk et al., 2015).

Die europäische Richtlinie 2002/32/EG über unerwünschte Stoffe in der Tierernährung, die sich speziell mit der Kontamination von Futtermitteln befasst, enthält keine speziellen Grenzwerte für PA bzw. Greiskräuter. Sie begrenzt jedoch den Höchstgehalt für PA-haltige *Crotalaria*-Arten der Familie Fabaceae in Futtermittel-Ausgangserzeugnissen und Mischfuttermitteln auf 100 mg/kg, bezogen auf ein Futtermittel mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 12 % (Richtlinie, 2002).

Probleme für Kulturpflanzen und Honig

Durch Miternte

Im Juli 2013 publizierte das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) Analyseergebnisse zum Vorkommen von PA in 221 Proben von Lebensmitteltees sowie einigen Arzneitees. Die Proben enthielten teilweise sehr große Mengen an PA (bis zu 3430 µg/kg Trockenmasse). Da es sich dabei um Produkte aus Pflanzen handelte, die genuin keine PA enthalten, entstand der Verdacht, dass PA durch eine Untermischung von Unkräutern wie z. B. Greiskraut-Arten eingetragen worden waren (BfR, 2013).

Aus weiteren Publikationen des BfR geht hervor, dass u. a. mit PA verunreinigte Kräutertees sowie pflanzenbasierte Nahrungsergänzungsmittel eine potenzielle Aufnahmequelle von PA sind (BfR, 2016; Dusemund et al., 2018; BfR, 2019). Neue Daten aus den Jahren 2015 bis 2019 über verschiedene relevante Lebensmittelgruppen wie z. B. Tees und Kräutertees einschließlich Pfefferminz- und Kamillentees zeigen, dass die PA-Gehalte über diesen Zeitraum deutlich verringert werden konnten. Für weitere Lebensmittelgruppen wie Kräuter, Gewürze und Nahrungsergänzungsmittel wurde die Datenlage als noch nicht ausreichend erachtet, um eine Bewertung vorzunehmen. Obwohl die Verzehrermengen von Kräutern/Gewürzen gering sind, deutet eine vorläufige Abschätzung aufgrund gefundener hoher PA-Gehalte darauf hin, dass diese erheblich zu einer Exposition beitragen. Deshalb wurde weiterhin empfohlen, die Aufnahme von PA so weit zu minimieren, wie dies nach dem ALARA-Prinzip vernünftigerweise erreichbar ist, und die Anbau-, Ernte- und Reinigungsmethoden weiter zu optimieren (BfR, 2020).

Eine im Jahr 2016 publizierte Studie der EFSA enthält ebenfalls Ergebnisse von Untersuchungen an Tee und Kräutertee wie beispielsweise aus Kamillenblüten, Pfefferminze oder Rotbusch, in denen relativ hohe Konzentrationen an PA gefunden wurden. Im Vergleich zu früheren Untersuchungen war hier eine Abnahme der Belastung zu verzeichnen (EFSA, 2016).

Eine Arbeitsgruppe aus mehreren europäischen Ländern untersuchte das Vorkommen von PA in tierischen Lebensmitteln, Kräutertees und pflanzlichen Nahrungsergänzungsmitteln aus sechs europäischen Ländern. Die Ergebnisse zeigten, dass in tierischen Produkten wie Milch, Eiern und Fleischerzeugnissen PA nur in wenigen Fällen auftraten, aber in 60 % der untersuchten pflanzlichen Nahrungsergänzungsmittel, darunter u. a. Johanniskraut, und in 92 % der Kräutertees messbare Mengen von PA enthalten waren. Vom Verteilungsmuster der PA konnte dabei auf die mitgeerntete Pflanze geschlossen werden. So schien z. B. Rotbusch-Tee durch Greiskräuter verunreinigt zu sein, während Nahrungsergänzungsmittel aus Johanniskraut eher eine Untermischung von Unkräutern aus der Familie der Boraginaceen aufwies (Mulder et al., 2018).

Da das Risiko der Mitbeerntung PA-haltiger Unkräuter und damit der Eintrag der PA in die Lebensmittelkette bei krautartigen landwirtschaftlichen Erzeugnissen sehr hoch ist, wurden im Projekt „Erfassung der standortabhängigen und kulturpflanzenspezifischen Beikrautflora in Arzneipflanzenbeständen unter besonderer Berücksichtigung Pyrrolizidinalkaloid-haltiger Unkräuter“ in den Jahren 2015-2017 Daten zum Vorkommen von Unkräutern auf ausgewählten, konventionell und ökologisch bewirtschafteten Anbauflächen in Deutschland gesammelt und daraus eine entsprechende Datenbank aufgebaut. Es konnte aufgezeigt werden, dass in den untersuchten Kamille-, Melisse-, Petersilie-, Thymian-Salbei- und Pfefferminzbeständen PA-haltige Unkräuter ca. 1,7 % der Gesamtverunkrautung ausmachen. Gefunden wurden 10 PA-haltige Unkrautarten, unter denen das Gewöhnliche Greiskraut am häufigsten auftrat, was auf seine weite Verbreitung aufgrund seiner Anspruchslosigkeit und kurzen Generationszeit zurückgeführt wurde (Nitzsche et al., 2018).

Durch horizontalen Transfer

Untersuchungen zum horizontalen Transfer von PA zwischen Pflanzen gaben Hinweise darauf, dass PA aus verrottetem Pflanzenmaterial von Jakobskreuzkraut über den Boden durch verschiedene Kulturpflanzen aufgenommen werden können. Die untersuchten Akzeptorpflanzen wiesen deutliche PA-Konzentrationen auf, wobei Ausmaß und Verteilungsmuster der übertragenen Alkaloide von den jeweiligen Akzeptorpflanzen abhängig waren (Nowak et al., 2016). Weiterhin konnte gezeigt werden, dass in der Nähe von Jakobskreuzkraut angebaute Kulturpflanzen nennenswerte Mengen derjenigen PA enthielten, die im Greiskraut vorkommen. Daraus wurde abgeleitet, dass typische sekundäre Metabolite wie PA auch zwischen lebenden Pflanzen übertragen werden können. In den Akzeptorpflanzen wurde fast ausschließlich Jacobin angereichert, was darauf hindeutet, dass dieses Alkaloid spezifisch von den Wurzeln des Jakobskreuzkrautes freigesetzt wird (Selmar et al., 2019).

Vorkommen in Honig

Da Bienen sich ihre Nahrung selbst suchen, kann je nach dem Angebot und der Attraktivität blühender Pflanzen, aber auch dem Ausmaß des Vorkommens von Greiskräutern im Umfeld von Bienenstöcken eine Aufnahme von PA durch die Bienen erfolgen (Lebensmittelverband, 2020). So konnte in Untersuchungen, die in Schleswig-Holstein im Jahr 2014 an Honig durchgeführt wurden, gezeigt werden, dass Sommerhonige aus einem Umfeld mit Jakobskreuzkraut deutlich höhere PA-Gehalte aufwiesen als solche aus Gebieten ohne Jakobskreuzkraut. In 53,5 % von insgesamt 86 Honigproben wurden PA nachgewiesen, wobei in einigen Fällen die behördlich empfohlenen allgemeinen Maximalwerte für die PA-Aufnahmemenge (BfR, 2011) überschritten wurden. Neben dem Jakobskreuzkraut können jedoch auch andere PA-haltige Pflanzen, die von Bienen besucht werden, für das PA-Vorkommen in Honig verantwortlich sein (Neumann & Huckauf, 2016).

Im Jahr 2011 veröffentlichte die EFSA ein Gutachten zum Auftreten von PA in Honig (EFSA, 2011). Wie auch andere Arbeiten (Edgar et al., 2011) kam dieses zu dem Schluss, dass bei täglichen Aufnahmemengen von 15–25 g Honig ein gesundheitliches Risiko besteht. Auch in Nahrungsergänzungsmitteln aus Bienenpollen (Propolis, Gelée royale) wurden z. T. nennenswerte Mengen an PA gefunden, was in einigen Fällen zum Rückruf von Produkten aus dem Markt führte (Kempf et al., 2010; EFSA, 2016; Mulder et al., 2018).

Auch das BfR als deutsche Behörde hielt Maßnahmen zur Senkung von PA-Gehalten in Honigen für notwendig, um mögliche Risiken für Vielverzehrer von Honig und insbesondere für Kinder zu minimieren. Deshalb wurde empfohlen, einerseits den Eintrag von PA und PA-haltigen Pflanzen/Pflanzenteilen in die Nahrungskette zu minimieren und andererseits die Aufnahme von PA durch Pollen und Pollen-haltige Produkte zu vermeiden (BfR, 2011). Die europäische Kontaminantenverordnung Nr. 1881/2006 setzte im Dezember 2020 für Nahrungsergänzungsmittel auf Pollenbasis, Pollen und Pollenprodukte einen PA-Höchstgehalt von 500 µg/kg fest (Verordnung, 2020).

Vorkommen in Böden und Oberflächenwasser

Um die Verteilung von PA aus Jakobskreuzkraut in der Umwelt zu untersuchen, wurde in einer Studie in Dänemark von Dezember 2017 bis Dezember 2018 an drei Stellen, an denen die Pflanze dominant war, das Vorkommen von PA in Böden und Oberflächenwasser bestimmt. Bei einer Pflanzendichte von im Durchschnitt 45 pro m² wurden die PA-Konzentrationen zwischen April und November bestimmt und in Relation zu den Regenfällen gesetzt. Es wurden 0,8-4,0 mg/kg Trockenmasse in Böden und 6,0-529 µg/L in Oberflächengewässern gefunden. Die maximalen PA-Konzentrationen wurden Mitte Mai kurz vor der Blüte mit einem Anstieg der Konzentrationen nach Regenfällen verzeichnet. Die Menge an PA, die bei hoher Pflanzendichte in Böden übertragen werden kann, wurde mit 0,4-2,0 kg/ha ermittelt. Da offensichtlich PA aus Pflanzen in von Greiskräutern dominierten Gebieten mit höheren Niederschlägen in umgebende Böden und Oberflächengewässer transportiert werden können, kann hier ein Risiko für die Gesundheit von Nutztieren und Menschen bestehen (Hama & Strobel, 2021).

Maßnahmen der Landwirtschaft und der verarbeitenden Industrie

Arzneipflanzen und Teekräuter

Nach der im Juli 2013 publizierten Bewertung des BfR zum Vorkommen von PA in Lebensmittel- und Arzneitees (BfR, 2013) ergriffen die Lieferanten der Ausgangsstoffe und die Hersteller von pflanzlichen Arzneimitteln Maßnahmen zur Überprüfung einer möglichen Belastung und zur Reduktion eines möglichen Kontaminationsrisikos. Vor dem Hintergrund, dass eine vollständige Vermeidung von PA-Kontaminationen nach dem gegenwärtigen Stand der Technik nicht möglich ist und deshalb Präventivmaßnahmen von essenzieller Bedeutung sind, wurde gemeinsam von verarbeitender Industrie und Anbauern ein Code of Practice erarbeitet. Dieses Dokument trägt der Notwendigkeit einer Einbeziehung aller Prozessbeteiligten aus den Bereichen Anbau, Nacherntebehandlung, Weiterverarbeitung sowie Herstellung von Extrakten bzw. Fertigarzneimitteln Rechnung und beschreibt mögliche Risiken einer PA-Kontamination und entsprechende Einflussmöglichkeiten entlang der gesamten Prozesskette. Für alle diese Schritte werden Vorschläge für Maßnahmen zusammen mit deren Bewertung aufgeführt. Für den Prozessschritt der Ernte des Pflanzenmaterials beispielsweise besteht das Risiko der Miternte PA-haltiger Unkräuter. Mögliche Maßnahmen können in einer Optimierung der Erntetechnologie, z. B. der Schnitthöhe, und des Erntezeitpunktes bestehen (Dittrich et al., 2016). Ähnliche Empfehlungen wurden für die Gewinnung von Lebensmitteln mit Berücksichtigung der Besonderheiten der einzelnen Branchen publiziert (Lebensmittelverband, 2020).

Um das Problem einer Kontamination von Arzneipflanzen mit PA von behördlicher Seite zu adressieren und für die Hersteller Maßnahmen zur Prüfung ihrer für die Arzneimittelherstellung verwendeten Chargen anzuordnen, erschien am 1. März 2016 eine Bekanntmachung des Bundesinstitutes für Arznei-

mittel und Medizinprodukte (BfArM) (BfArM, 2016). Diese verpflichtete die Hersteller, den Prüfumfang in Form von drei Kategorien zu definieren, wobei in Abhängigkeit von den vorliegenden Daten über den PA-Gehalt des Materials entweder eine Stichprobenprüfung oder eine Routineprüfung durchgeführt werden muss. Es ist dabei die Aufgabe des Arzneimittel-Herstellers, die Anforderungen an die einzusetzenden Ausgangsstoffe anhand der Tagesdosis des Endproduktes zu berechnen. Eine errechnete Überschreitung des Grenzwertes von 1,0 µg pro Tag im Fertigarzneimittel bedeutet in jedem Fall, dass die betreffende Charge nicht für die weitere Produktion eingesetzt werden darf. Auch auf europäischer Ebene wurde eine entsprechende Anordnung für den Arzneimittelbereich umgesetzt (HMPC, 2016).

Datenauswertungen von Herstellern bestätigen, dass über die letzten Jahre eine deutliche und kontinuierliche Verbesserung erfolgt und heute eine stabile Situation erreicht ist (Steinhoff, 2021). Die Datenauswertungen erlauben darüber hinaus für die Hersteller eine Identifizierung von kritischen Pflanzen und Zubereitungen im Hinblick auf eine mögliche PA-Belastung und dienen der Überprüfung der Effizienz der durchgeführten Maßnahmen nach dem oben beschriebenen Code of Practice (Dittrich et al., 2016).

Da bereits eine Miternte von weniger als 10 Greiskrautpflanzen pro Hektar zu einer Überschreitung der PA-Grenzwerte im Erntegut führen können, wurde in einem Forschungsprojekt ein Nahinfrarot(NIR)-spektroskopisches Detektionsverfahren entwickelt, mit dem solche Verunreinigungen in den geernteten Arznei- und Gewürzpflanzen erkannt werden können. Dabei erscheint eine Abtrennung unerwünschter und potenziell toxischer Unkräuter wie insbesondere des Gewöhnlichen Greiskrauts durchaus möglich (Tron et al., 2020).

Honig

Zur Vermeidung einer PA-Belastung von Honig sollten Imker PA-Pflanzen erkennen und korrekt identifizieren können, um bei Bedarf entsprechende Maßnahmen zu treffen. Da in vielen Fällen dem Imker die betreffenden Flächen jedoch nicht gehören, wird empfohlen, die Eigentümer der Flächen mit Standorten der PA-Pflanzen bzw. die verantwortlichen Behörden zu kontaktieren. Falls möglich, kann es angezeigt sein, den Standort der Bienenstöcke zu wechseln (Lebensmittelverband, 2020) oder den Honig vor der Greiskraut-Blüteperiode Mitte Juli zu gewinnen bzw. in Zweifelsfällen den geschleuderten Honig vorsorglich auf seinen PA-Gehalt untersuchen zu lassen (DVL, 2021).

Eine Untersuchung der Universität Kiel befasste sich mit der Auswirkung eines Wildblumenbewuchses auf die Besuche von Bestäubern beim Gewöhnlichen Greiskraut auf neun speziell dazu angelegten Flächen von jeweils 4 m × 4 m, die in drei Intervallen im Juni und Juli 2018 beobachtet wurden. Die Wildblumenbeete wurden mit einer Samenmischung aus einem regionalen Agrarumweltprogramm angesät, die anderen Parzellen stellten Gewöhnliches Greiskraut mit jeweils neun Pflanzen in artenreichem (mit zusätzlicher Samenmischung) und artenarmem Grünland dar. Insgesamt wurden fast 12.000 Bestäuberbesuche gezählt, darunter Hummeln (44,4 %), Honigbienen (31,8 %), Schwebfliegen (15,3 %) und

Solitärbienen (8,5 %). Auf Greiskraut entfielen dabei 4.131 Bestäuberbesuche von Honigbienen (36,4 %), Hummeln (25,7 %), Schwebfliegen (23,7 %) und Solitärbienen (14,1 %). Insgesamt betragen die relativen Besuchsraten beim Greiskraut durchschnittlich 24,9 % pro Block und Intervall, wobei sie bei Solitärbienen (35,7 %) deutlich am höchsten waren. Es konnte gezeigt werden, dass das Vorhandensein von Wildblumenfeldern und Wildblumenbedeckung die Anzahl der Bestäuberbesuche beim Greiskraut in artenarmen Wiesen reduzierten. Dieser Effekt war bei Schwebfliegen am stärksten ausgeprägt, gefolgt von Honigbienen, Solitärbienen und Hummeln. Somit können die auf die artspezifischen Anforderungen von Blütenbesuchern zugeschnittenen Wildblumenfelder, die an Massenvorkommen von Gewöhnlichem Greiskraut auf ausgedehnten Grasflächen angrenzen, eine alternative Maßnahme zur Verringerung der Besuchsraten von Honigbienen und anderen Bestäubern auf Greiskraut darstellen (Peter et al., 2021).

Grünfütter

Sorgfalt muss auch beim Anbau von Futtermitteln angewendet werden. Zwar werden PA-bildende Pflanzenarten von den Weidetieren im frischen Zustand zumeist gemieden, in getrockneter Form können PA-haltige Pflanzenteile jedoch nicht mehr erkannt werden, so dass zur Vermeidung von Vergiftungen durch Grünfütter entsprechende Maßnahmen zu ergreifen sind (Mulder et al., 2009). Diese können wie oben beschrieben darin bestehen, die für die Gewinnung von Grünfütter vorgesehenen Flächen zu kontrollieren, die PA-bildenden Pflanzen auszureißen und in Biogasanlagen zu vernichten. Bei mehr als zwei Pflanzen pro 10 m² sollte das Erntegut nicht mehr als Futtermittel eingesetzt und auf der Anbaufläche ggf. nach Herbizidbehandlung eine Nachsaat bzw. nach Umpflügen eine Neueisaat vorgenommen werden (LANUV, 2020; Lebensmittelverband, 2020).

Empfehlungen für die Bewirtschaftung von Wiesen und Weideland

Wie beschrieben kann das Vorkommen von Greiskräutern auf Weiden und Wiesen nicht nur durch die direkte Aufnahme durch Weidetiere, sondern auch durch die Verfütterung von PA-belastetem Heu eine Gefahr darstellen, weshalb die Kontrolle und die Reduzierung PA-bildender Pflanzen wichtig sind (Mulder et al., 2009; Leiss 2011; Wiedenfeld & Edgar, 2011). Detaillierte Maßnahmen für das Weidemanagement u. a. für extensives Weideland und intensives Grünland, enthalten u. a. die Empfehlungen der Landwirtschaftskammer und des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) Nordrhein-Westfalen, des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR), des Deutschen Verbandes für Landschaftspflege e. V. (DVL) und des Lebensmittelverbandes Deutschland (LANUV, 2020; LLUR, 2013; Lebensmittelverband, 2020).

Die Maßnahmen zur Bekämpfung des Jakobskreuzkrautes zielen in erster Linie darauf ab, diesem die Wachstums- und Vermehrungsgrundlagen zu nehmen, also die Blüte und Samenreife zu verhindern. In Abhängigkeit vom Ausmaß des

Besatzes ist eine einmalige Bekämpfung häufig nicht ausreichend. Deshalb sollten im Rahmen einer konsequenten Weidpflege ab Blühbeginn die Flächen gemäht und bei reiner Schnittnutzung mindestens zwei Schnitte durchgeführt werden, um die Samenbildung zu verhindern. Da das Mähen insbesondere beim Jakobskreuzkraut auch ein erneutes Ausbreiten fördern kann, sollten erste auftretende Pflanzen frühzeitig mit der Wurzel ausgerissen oder ausgestochen werden. Eine weitere wichtige und nachhaltige Maßnahme ist die Vermeidung von Lücken und Narbenschäden, auf denen sich das Kraut ausbreiten kann. Dies gilt besonders für Pferdeweiden, deren Grünlandnarbe relativ stärkerer Beanspruchung ausgesetzt ist. Sinnvoll kann die Förderung des Wachstums schnellwachsender Grasarten ggf. mit entsprechender Düngung oder eine Nachsaat mit konkurrierenden Untergräsern z. B. mit deutschem Weidelgras (*Lolium perenne* L.), sein. Für eine intensive Grünlandnutzung empfehlen die Landwirtschaftskammern spezielle Grünland-Mischungen zu leistungsstarken Grasnarben, zur Anlage von extensiv genutztem, artenreichem Grünland haben sich u. a. Mahdgutübertragung und Heudrusch® bewährt. Wegen der Ausbreitung der Samen mit dem Wind sollten auch angrenzende Flächen entsprechend beobachtet und wenn möglich eine Verbreitung der Samen von PA-Pflanzen über die Hufe oder das Fell der Weidetiere vermieden werden (LANUV, 2020; Lebensmittelverband, 2020; LLUR, 2013).

Für eine Beweidung durch Schafe, die weniger empfindlich auf PA als Pferde oder Rinder reagieren, wird das zeitige Frühjahr empfohlen. Allerdings dürfen die Weideflächen keinen zu starken Greiskrautbesatz aufweisen und sollten zudem über ein attraktives und ausreichendes Angebot an anderen Futterpflanzen verfügen. Durch eine Schafbeweidung kann jedoch möglicherweise auch Offenbodenstellen mit Keimbedingungen für Greiskräuter entstehen (Lebensmittelverband, 2020; LLUR, 2013).

Die chemische Bekämpfung des Jakobskreuzkrautes mit Herbiziden ist möglich, sollte aber stets als letzte Maßnahme in Erwägung gezogen werden, da damit auch wertvolle Grünlandpflanzen beseitigt werden (LANUV, 2020). Deshalb seien auch einige Möglichkeiten der biologischen Bekämpfung erwähnt, da wie oben beschrieben, Greiskräuter auch eine Nahrungsquelle für eine Reihe an Herbivoren darstellen. Hierzu wurde eine umfangreiche Übersicht von Studien mit verschiedenen Insekten publiziert (Leiss, 2011).

In der Tagespresse wurde von einem Landwirt aus Schleswig-Holstein berichtet, der ein auch in anderen Bundesländern zum Einsatz gekommenes Konzept entwickelt hat. Er züchtete den Jakobskrautbär (*Tyria jacobaeae*), um über dessen Raupenfraß die Verbreitung des Jakobskreuzkrautes einzudämmen (Süddeutsche Zeitung, 2020). Jedoch wurde gezeigt, dass dessen Einsatz als Methode zur Vernichtung des Jakobskreuzkrauts z. B. in den USA, Australien und Neuseeland aus verschiedenen Gründen nicht etabliert werden konnte (Leiss, 2011). Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass das Ausmaß des Verbisses durch den Jakobskrautbär nicht nur von der Menge der Nahrungspflanzen, sondern auch stark von Umweltfaktoren wie Witterung und die Raupen befallenden Parasitoiden (z. B. Schlupfwespen), die die Popu-

lationsentwicklung des Falters beeinflussen, abhängt (LLUR, 2013).

In einer australischen Studie wurde die Verbreitung verschiedener Flohkäfer und Mottenarten sowie des Jakobskrautbärs und deren Auswirkung auf den Besatz von Flächen mit Jakobskreuzkraut untersucht. So hat sich der Flohkäfer *Longitarsus flavicornis* über fast alle befallenen Gebiete Süd- und Nordtasmaniens ausgebreitet und teilweise die Dichte um bis zu 95 % reduziert, wo hingegen *Longitarsus jacobaeae* keine signifikanten Auswirkungen hatte. Auch mit der Mottenart *Cochylis atricapitana* gibt es positive Erfahrungen (McLaren et al., 2000).

Entsorgung

In den vergangenen Jahren wurde von verschiedenen Institutionen auf regionaler oder lokaler Ebene eine Vielzahl von Empfehlungen zur Entfernung und Entsorgung von Jakobskreuzkraut und anderen Greiskräutern veröffentlicht.

Zur Entsorgung der Pflanzen von größeren Flächen wurde die Verbringung in Kompostieranlagen, Verbrennungsanlagen oder Biogasanlagen empfohlen. In zugelassenen Anlagen mit Einwirkung definierter Temperaturen über einen bestimmten Zeitraum können Pflanzen zuverlässig abgetötet werden und Samen ihre Keimfähigkeit verlieren. Eine Ausbreitung der Pflanzen ist durch die spätere Gülleverteilung nicht zu befürchten, weshalb ein Einsatz der Gärreste als Dünger auf den Feldern und im Grünland für möglich gehalten wurde. Bei Anlagen mit offenen Aufnahmebereichen sollte das Material zügig in den Behandlungsprozess eingebracht werden, um die Samenverbreitung über die Luft zu verhindern (BGK, 2009; LANUV, 2020).

Für die Entsorgung aus Haushaltungen rät die Bundesgütemgemeinschaft Kompost e. V. (BGK, 2009) von einer Eigenkompostierung ab und empfiehlt, ausgerissenes Jakobskreuzkraut falls vorhanden in der Biotonne bzw. ansonsten über die Restmülltonne zu entsorgen. So hatte auch die Fraktion der Grünen in Windeck/Sieg im August 2020 die Bürger aufgerufen, Jakobskreuzkraut mit Handschuhen auszureißen, in der Restmülltonne zu entsorgen und keinesfalls zu kompostieren (Grüne Windeck, 2020).

Basierend auf den Erkenntnissen neuerer Untersuchungen, nach denen PA aus verrottetem Pflanzenmaterial von Jakobskreuzkraut über den Boden von Kulturpflanzen aufgenommen werden und auch zwischen lebenden Pflanzen übertragen werden können, dürfen ausgerissene Greiskräuter keinesfalls auf dem Acker oder auf der Wiese oder Weide verrotten, sondern sie müssen vollständig von den Flächen entfernt werden, um eine Aufnahme der Alkaloide durch andere Pflanzen zu verhindern (Nowak et al., 2016; Selmar et al., 2019). Ob eine Kompostierung von Greiskräutern in zugelassenen Anlagen mit definierter Hitzeeinwirkung einen Abbau der PA ermöglicht und damit nicht nur zum Abtöten von Pflanzen und Samen, sondern auch zur Zerstörung der toxischen Inhaltsstoffe geeignet ist, muss an dieser Stelle mangels ausreichender Datenlage offenbleiben. Berücksichtigt werden sollte jedoch auch, dass es beim Ausreißen oder Mähen blühender Jakobskreuzkraut-Pflanzen innerhalb we-

niger Stunden zu einer „Notreife“ der Samen kommen kann, die dann durch den Wind weiterverbreitet werden können.

In einer neueren Studie wurde das Ausmaß des biochemischen Abbaus von PA durch Kompostierung und Biomethanisierung PA-haltiger Pflanzen, u. a. des Jakobskreuzkrautes, untersucht. Zum einen wurde frisch geschnittenes Material in Thermokompostern kompostiert, nach 6 Wochen umgesetzt und nach weiteren 6 Wochen gesiebt und analysiert. Zum anderen wurde für die Biogasexperimente die grob gehackte Greiskraut-Biomasse teils dunkel gelagert, teils eingefroren und aufgetaut und dann in die Fermenter verbracht. In diesen wurde eine Nassfermentation bei 38°C über acht gestaffelte Zeiträume zwischen 6 und 30 Tagen durchgeführt. Die Versuche zeigten einen über 99 %igen Abbau der Alkaloide während des dreimonatigen Kompostierungsprozesses und eine schnelle Zersetzung von PA von 6350,2 µg/kg auf weniger als 539,6 µg/kg während der Biomethanisierung. Die Ergebnisse können Hinweise darauf geben, wie PA-haltiges Pflanzenmaterial im Rahmen einer Minimierung des Übertragungsrisikos von PA auf nachfolgende landwirtschaftliche Kulturen für die Lebens- und Futtermittelproduktion wiederverwendet werden kann (Chmit et al., 2021).

Ökologische Aspekte und Risikoabwägung

Jakobskreuzkraut hat für eine große Anzahl an Insekten eine lebenswichtige Bedeutung als Pollenspender, Futter- oder Eiablagepflanze. Insgesamt sind mehr als 170 Insektenarten bekannt, die am Jakobskreuzkraut leben. Diese große Zahl bedeutet auch ein entsprechend hohes Nahrungsangebot für andere Tierarten z. B. Vögel und Säugetiere (Macel, 2011; LLUR, 2013; Schramm et al., 2019). Kreuzkräuter sind damit wichtiger Teil der Lebensgemeinschaften und tragen zur Biodiversität bei.

Es stellt sich deshalb die Frage, ob rigorose Bekämpfungsmaßnahmen in allen Fällen angezeigt sind, insbesondere auf Flächen, die keine Quelle einer Verunkrautung landwirtschaftlich genutzter Flächen darstellen. Sicher müssen potenzielle Gefahren für Mensch und Tier vermieden bzw. deren Quellen beseitigt werden, aber gleichzeitig ökologische Belange angemessen berücksichtigt werden. So steht insbesondere auf Naturschutzflächen das Ziel der Erhaltung natürlicher Biotope der Umsetzung von Bekämpfungsmaßnahmen entgegen. Es sollte deshalb immer im Einzelfall unter Abwägung von Nutzen und Risiken des Vorkommens von Jakobskreuzkraut beurteilt werden, ob und welche Maßnahmen einer Entfernung bzw. auch weitere Maßnahmen angezeigt sind, dies unter Berücksichtigung sowohl der Gesundheit von Mensch und Tier als auch der Erhaltung der Biodiversität und der Prioritäten des Naturschutzes.

Eine detaillierte Entscheidungshilfe zur Wahl geeigneter Kontrollmaßnahmen für Flächen mit und ohne Naturschutzauflagen wurde vom Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein und dem Deutschen Verband für Landschaftspflege e. V. publiziert (LLUR, 2013). Nach diesem Entscheidungsbaum ist zunächst zu differenzieren, ob

es sich um Flächen mit oder ohne Naturschutzauflagen handelt. Bei Flächen mit Naturschutzauflagen sollte mit der Naturschutzbehörde oder anderen zuständigen Organisationen abgeklärt werden, ob Maßnahmen auf der Fläche zulässig bzw. notwendig sind. Falls ja, ist je nach Flächengröße und Dichte des Besatzes zu entscheiden, ob das Mähen der Fläche oder ein Ausziehen oder Ausgraben der Pflanzen sinnvoll ist, wobei in jedem Fall aber eine Abfuhr und Entsorgung des Materials erfolgen sollte. Bei Flächen ohne Naturschutzauflagen können sowohl nicht-chemische als auch chemische Maßnahmen zum Tragen kommen, ebenfalls in Abhängigkeit von der Flächengröße und der Dichte des Besatzes. Als nicht-chemische Maßnahmen können die Verbesserung der Bestandes- bzw. Narbenpflege, das Mähen oder die Entfernung einzelner Pflanzen erfolgen. Sollte eine Herbizid-Behandlung angezeigt sein, sind hier ebenfalls die Größe der Fläche und die Dichte des Jakobskreuzkraut-Besatzes zu berücksichtigen (LLUR, 2013).

Insgesamt lässt sich festhalten, dass mit der Bewertung des Vorkommens, des Gefahrenpotenzial und eventuell notwendiger Beseitigungsmaßnahmen sachlich und wissenschaftlich fundiert sowie unter Einbeziehung von Aspekten des Naturschutzes und der Biodiversität umgegangen werden sollte. Aufklärung und offene, emotionsfreie Diskussionen über das Thema sowie Weiterbildungsmaßnahmen für Landwirte und Tierhalter spielen dabei eine wichtige Rolle (Zehm, 2017).

Einen Sonderfall stellt das eingewanderte und zumeist auf Verkehrsbegleitflächen vorkommende Schmalblättrige Greiskraut dar, das sich auf bewirtschaftetem Grünland bislang noch nicht verbreitet hat. Es wurde vorgeschlagen, aus ökonomischen Gründen eine Bekämpfung in Betracht zu ziehen, um frühzeitig einer großflächigeren Ausbreitung verbunden mit höheren Beseitigungskosten vorzubeugen (Zehm, 2017).

Beispiel: Flächen im Rhein-Sieg-Kreis

Für die Biologische Station im Rhein-Sieg-Kreis hat das 30 ha große Gelände des Segelflugplatzes Eudenbach nicht weit von der Autobahnausfahrt „Bad Honnef – Linz“ der A 3 eine besondere Bedeutung. Es gehört mit seinem artenreichen Grünland, das durch extensive, düngefreie Nutzung und regelmäßige Heumahd durch Landwirte bewirtschaftet wird, zu den größten Wiesen im Kreisgebiet und stellt einen wertvollen Lebensraum für Pflanzen und Tiere dar (Biologische Station, 2019). Da das Heu an Rinder und Schafe verfüttert wird, entfernen Mitarbeitende der Biostation und ehrenamtlich Helfende das auf diesen Flächen vorkommende Jakobskreuzkraut zumeist in jedem Jahr ab Anfang Juli in Handarbeit. Hierbei werden die Pflanzen nach Möglichkeit mit der häufig nicht ohne Weiteres erkennbaren Blattrosette ausgerissen und entsorgt, bevor die Samen reifen und eine Weiterverbreitung der Pflanzen erfolgen kann, so beispielsweise in mehreren Aktionen im Juli 2021, wie Abb. 5 und 6 zeigen. Die Wiese wurde wenige Tage nach dem Einsatz gemäht.

Neben der Betreuung der Wiesen am Flugplatz Eudenbach werden auch in Zusammenarbeit mit der Biostation Rhein-Erft linksrheinische Flächen beispielsweise bei Ersdorf in der Nähe von Meckenheim von Jakobskreuzkraut befreit. Damit



Abb. 5. Entfernung des Jakobskreuzkrauts auf einer Fläche beim Flugplatz Eudenbach (Königswinter/Rhein-Sieg-Kreis), Quelle: Dr. Barbara Steinhoff 2021



Abb. 6. Ausgerissenes Jakobskreuzkraut bei einer Aktion der Biostation Rhein-Sieg, Quelle: Dr. Barbara Steinhoff 2021

wird ein wichtiger Beitrag zur Unterstützung der Landwirte und zur Erhaltung dieser besonderen Wiesen geleistet.

Zusammenfassung und Ausblick

Jakobskreuzkraut und andere Greiskräuter können bei unbeabsichtigter Miternte zur Kontamination pflanzlicher Lebensmittel sowie Arzneimitteln mit PA führen. Deshalb sind bei Verwendung der geernteten Pflanzen in diesen Produkten entsprechende Vorsichtsmaßnahmen angezeigt. Diese

können sich auf Vermeidung bzw. Entfernung der Unkräuter beziehen, aber auch auf die Kontrolle der Ausgangsstoffe und der Produkte vor, während bzw. nach der Herstellung. Auch Honig kann in Abhängigkeit vom Ausmaß des Greiskraut-Vorkommens im Umfeld von Bienenstöcken eine PA-Belastung aufweisen. Im Sinne der Verfügbarkeit allgemein sicherer Produkte und der Erhaltung der Gesundheit von Menschen und Tieren wird demnach auf solchermaßen bewirtschafteten Flächen eine weitestgehende Reduktion der Greiskrautbestände für erforderlich gehalten. Da das Jakobskreuzkraut wie auch andere Greiskräuter eine potenzielle Gefährdung

für Weidetiere darstellen können, werden, wie am Beispiel von Flächen im Rhein-Sieg-Kreis geschildert, Maßnahmen zur Entfernung der Pflanzen von Weideflächen durchgeführt, die für die Erhaltung dieser Flächen extrem wichtig sind.

Unter dem Gesichtspunkt der Bedeutung des Jakobskreuzkrauts und anderer Greiskräuter als Teil der mitteleuropäischen Lebensgemeinschaften und als Nahrungsquelle für Bienen und andere Insekten sowie verschiedene Herbivoren muss jedoch kritisch hinterfragt werden, ob eine Ausrottung von Greiskräutern im Sinne rigoroser Bekämpfungsmaßnahmen generell geboten ist. Vielmehr muss in jedem Einzelfall anhand einer Nutzen-Risiko-Abwägung entschieden werden, ob und welche Beseitigungsmaßnahmen angesichts des Gefahrenpotenzials durch Greiskräuter notwendig sind. Hierbei sind die Aspekte der Gesundheit von Mensch und Tier, aber auch die ökologische Bedeutung insbesondere für Insekten, die Erhaltung der Biodiversität und die Prioritäten des Naturschutzes sorgfältig gegeneinander abzuwägen.

Danksagung

Diese Publikation entstand im Rahmen einer Projektarbeit „Ehrenamt im Naturschutz stärken“ der Biologischen Station im Rhein-Sieg-Kreis e. V., Eitorf.

Erklärung zu Interessenskonflikten

Die Autorin erklärt, dass keine Interessenskonflikte vorliegen.

Literatur

BfArM (Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte), 2016: Bekanntmachung zur Prüfung des Gehalts an Pyrrolizidinalkaloiden zur Sicherstellung der Qualität und Unbedenklichkeit von Arzneimitteln, die pflanzliche Stoffe bzw. pflanzliche Zubereitungen oder homöopathische Zubereitungen aus pflanzlichen Ausgangsstoffen als Wirkstoffe enthalten. Bonn: BfArM, URL: <https://www.bfarm.de/SharedDocs/Bekanntmachungen/DE/Arzneimittel/besTherap/bm-besTherap-20160301-pa-pdf.html>.

BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung), 2011: 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, URL: <https://www.bfr.bund.de/cm/343/analytik-und-toxizitaet-von-pyrrolizidinalkaloiden.pdf>.

BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung), 2013: Pyrrolizidinalkaloide in Kräutertees und Tees. Stellungnahme 018/2013 des BfR vom 5. Juli 2013, URL: <https://www.bfr.bund.de/cm/343/pyrrolizidinalkaloide-in-kraeutertees-und-tees.pdf>.

BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung), 2016: Pyrrolizidinalkaloide: Gehalte in Lebensmitteln sollen nach wie vor so weit wie möglich gesenkt werden. Stellungnahme Nr. 030/2016 des BfR vom 28. September 2016, URL: <https://www.bfr.bund.de/cm/343/pyrrolizidinalkaloide-gehalte-in-lebensmitteln-sollen-nach-wie-vor-so-weit-wie-moeglich-gesenkt-werden.pdf>.

lebensmitteln-sollen-nach-wie-vor-so-weit-wie-moeglich-gesenkt-werden.pdf.

BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung), 2019: Pyrrolizidinalkaloidgehalt in getrockneten und tiefgefrorenen Gewürzen und Kräutern zu hoch. Stellungnahme Nr. 017/2019 des BfR vom 13. Mai 2019, URL: <https://www.bfr.bund.de/cm/343/pyrrolizidinalkaloidgehalt-in-getrockneten-und-tiefgefrorenen-gewuerzen-und-kraeutern-zu-hoch.pdf>.

BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung), 2020: Aktualisierte Risikobewertung zu Gehalten an 1,2-ungesättigten Pyrrolizidinalkaloiden (PA) in Lebensmitteln. Stellungnahme 026/2020 des BfR vom 17. Juni 2020, URL: <https://www.bfr.bund.de/cm/343/aktualisierte-risikobewertung-zu-gehalten-an-1-2-ungesaettigten-pyrrolizidinalkaloiden-pa-in-lebensmitteln.pdf>.

BGK (Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V.), 2009: Schadlose Entsorgung von Jakobskreuzkraut. BGK Information 30. Juli 2009, URL: https://www.kompost.de/fileadmin/docs/Archiv/Informationen/schadlose_Entsorgung_Jakobskreuzkraut.pdf.

Biologische Station im Rhein-Sieg-Kreis e. V., 2019: Artenreiches Grünland durch Heunutzung erhalten – Kreuzkrautbekämpfung am Segelflugplatz Eudenbach. Biologische Station im Rhein-Sieg-Kreis e. V., 26. Juni 2019, URL: <https://www.biostation-rhein-sieg.de/2019/06/26/artenreiches-gr%C3%BCnland-durch-heunutzung-erhalten-kreuzkrautbek%C3%A4mpfung-am-segelflugplatz-eudenbach/>

Cheng, D., V.-T. Nguyen, N. Ndiokubwayo, J. Ge, P.P.J. Mulder, 2017: Pyrrolizidine alkaloid variation in *Senecio vulgaris* populations from native and invasive ranges. *PeerJ* **5**, e3686, DOI: 10.7717/peerj.3686.

Chmit, M.S., J. Müller, D. Wiedow, G. Horn, T. Beuerle, 2021: Biodegradation and utilization of crop residues contaminated with poisonous pyrrolizidine alkaloids. *J Journal of Environmental Management* **290**, 112629, DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112629.

Craig, A.M., E.G. Pearson, C. Meyer, J.A. Schmitz, 1991: Serum liver enzyme and histopathologic changes in calves with chronic and chronic-delayed *Senecio jacobaea* toxicosis. *American Journal of Veterinary Research* **52**, 1969-1978.

DVL (Deutscher Verband für Landschaftspflege e. V., 2021: Pyrrolizidin-Alkaloide im Honig, URL: <http://www.kreuzkraut.de/fachinformationen/pyrrolizidin-alkaloide-im-honig.html>.

Dittrich, H., K. Hösel, H. Sievers, B. Klier, F. Waimer, H. Heuberger, A. Plescher, N. Armbrüster, B. Steinhoff, 2016: Code of Practice zur Vermeidung und Verringerung von Kontaminationen pflanzlicher Arzneimittel mit Pyrrolizidinalkaloiden. *Pharmazeutische Industrie* **78** (6), 836-845.

Dusemund, B., N. Nowak, C. Sommerfeld, O. Lindtner, B. Schäfer, A. Lampen, 2018: Risk assessment of pyrrolizidine alkaloids in food of plant and animal origin. *Food and Chemical Toxicology* **115**, 63-72, DOI: 10.1016/j.fct.2018.03.005.

Ebmeyer, J., J.D. Rasinger, J.G. Hengstler, D. Schaudien, O. Creutzenberg, A. Lampen, A. Braeuning, S. Hessel-Pras, 2020: Hepatotoxic pyrrolizidine alkaloids induce DNA damage

- response in rat liver in a 28-day feeding study. *Archives of Toxicology* **94**, 1739–1751, DOI: 10.1007/s00204-020-02779-2.
- Edgar, J.A., S.M. Colegate, M. Boppré, R.J. Molyneux, 2011:** Pyrrolizidine alkaloids in food: a spectrum of potential health consequences. *Food Additives and Contaminants Part A* **28** (3), 308–324, DOI: 10.1080/19440049.2010.547520.
- EFSA (European Food Safety Authority), 2007:** Opinion of the Scientific Panel on contaminants in the food chain on a request from the European Commission related to pyrrolizidine alkaloids as undesirable substances in animal feed (Question N° EFSA-Q-2003-065). *EFSA Journal* **447**, 1–51, URL: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2007.447>.
- EFSA (European Food Safety Authority), 2011:** Scientific Opinion on pyrrolizidine alkaloids in food and feed. *EFSA Journal* **9** (11), 2406, DOI: 10.2903/j.efsa.2011.2406.
- EFSA (European Food Safety Authority), 2016:** Dietary exposure assessment to pyrrolizidine alkaloids in the European population. *EFSA Journal* **14** (8), 4572, DOI: 10.2903/j.efsa.2016.4572.
- EFSA (European Food Safety Authority) Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM), 2017:** Risks for human health related to the presence of pyrrolizidine alkaloids in honey, tea, herbal infusions and food supplements. *EFSA Journal* **15** (7), 4908–4943, DOI: 10.2903/j.efsa.2017.4908.
- Flade, J., H. Beschow, M. Wensch-Dorendorf, A. Plescher, W. Wätjen, 2019:** Occurrence of nine pyrrolizidine alkaloids in *Senecio vulgaris* L. depending on developmental stage and season. *Plants* **8**, 54, DOI: 10.3390/plants8030054.
- Fu, P.P., Q. Xia, G. Lin, M.W. Chou, 2004:** Pyrrolizidine alkaloids – genotoxicity, metabolism enzymes, metabolic activation, and mechanisms. *Drug Metabolism Reviews* **36** (1), 1–55, DOI: 10.1081/DMR-120028426.
- Gessner, O., 1953:** Die Gift- und Arzneipflanzen von Mitteleuropa. 2. Aufl. Heidelberg, Carl Winter Universitätsverlag, 142–143.
- Goeger, D.E., P.R. Cheeke, J.A. Schmitz, D.R. Buhler, 1982:** Toxicity of tansy ragwort (*Senecio jacobaea*) to goats. *American Journal of Veterinary Research* **43** (2), 252–254.
- Gottschalk, C., S. Ronczka, A. Preiß-Weigert, J. Ostertag, H. Klaffke, H. Schafft, M. Lahrssen-Wiederholt, 2015:** Pyrrolizidine alkaloids in natural and experimental grass silages and implications for feed safety. *Animal Feed Science and Technology* **207**, 253–261, DOI: 10.1016/j.anifeeds.2015.06.014.
- Grüne Windeck, 2020:** Jakobskreuzkraut eine heimische Gefahr für Mensch und Tier. Bündnis 90 Die Grünen, 13. August 2020, URL: https://gruene-windeck.de/gruenaktiv/presse/aktuelles-volltext/article/jakobskreuzkraut_eine_heimische_gefahr_fuer_mensch_und_tier/.
- Hama, J.R., B.W. Strobel, 2021:** Occurrence of pyrrolizidine alkaloids in ragwort plants, soils and surface waters at the field scale in grassland. *Science of the Total Environment* **755**, 142822, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142822.
- He, X., Q. Xia, Q. Wu, W.H. Tolleson, G. Lin, P.P. Fu, 2019:** Primary and secondary pyrrolic metabolites of pyrrolizidine alkaloids form DNA adducts in human A549 cells. *Toxicology in vitro* **54**, 286–294, DOI: 10.1016/j.tiv.2018.10.009.
- HMPC (Committee on Herbal Medicinal Products), 2016:** Public Statement on contamination of herbal medicinal products/traditional herbal medicinal products with pyrrolizidine alkaloids – Transitional recommendations for risk management and quality control (EMA/HMPC/328782/2016). 31 May 2016, URL: https://www.ema.europa.eu/en/documents/public-statement/public-statement-contamination-herbal-medicinal-products/traditional-herbal-medicinal-products-pyrrolizidine-alkaloids_en.pdf.
- HMPC (Committee on Herbal Medicinal Products), 2021:** Public statement on the use of herbal medicinal products containing toxic, unsaturated pyrrolizidine alkaloids (PAs) including recommendations regarding contamination of herbal medicinal products with pyrrolizidine alkaloids (EMA/HMPC/893108/2011 Rev. 1). 7 July 2021, URL: https://www.ema.europa.eu/en/documents/public-statement/public-statement-use-herbal-medicinal-products-containing-toxic-unsaturated-pyrrolizidine-alkaloids_en-0.pdf.
- Jung, S., J. Lauter, N.M. Hartung, A. These, G. Hamscher, V. Wissemann, 2020:** Genetic and chemical diversity of the toxic herb *Jacobaea vulgaris* Gaertn. (syn. *Senecio jacobaea* L.) in Northern Germany. *Phytochemistry* **172**, 112235, DOI: 10.1016/j.phytochem.2019.112235.
- Kempf, M., A. Reinhard, T. Beuerle, 2010:** Pyrrolizidine alkaloids (PAs) in honey and pollen – legal regulation of PA levels in food and animal feed required. *Molecular Nutrition & Food Research* **54**, 158–168, DOI: 10.1002/mnfr.200900529.
- LANUV (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen), Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2020:** Jakobskreuzkraut (*Senecio jacobaea*) – Eine Giftpflanze auf dem Vormarsch. 6. Aufl. August 2020, URL: <https://www.landwirtschaftskammer.de/riswick/pdf/jakobskreuzkraut.pdf>
- Lebensmittelverband Deutschland, 2020:** Code of Practice zur Vermeidung und Verringerung der Kontamination von Lebensmitteln mit Pyrrolizidinalkaloiden, URL: <https://www.lebensmittelverband.de/de/presse/pressemitteilungen/pm-20200504-cop-zur-minimierung-von-pyrrolizidinalkaloiden-in-lebensmitteln-veroeffentlicht>
- Leiss, K.A., 2011:** Management practices for control of ragwort species. *Phytochemistry Reviews* **10**, 153–163, DOI: 10.1007/s11101-010-9173-1.
- LLUR (Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein), DVL (Deutscher Verband für Landschaftspflege e. V.), 2013:** Umgang mit dem Jakobs-Kreuzkraut. Meiden – Dulden – Bekämpfen. 3. Aufl. Deutscher Verband für Landschaftspflege e. V. (DVL) Schriftenr. LLUR SH – Natur 22. Mai 2013, URL: https://www.dvl.org/uploads/tx_ttproducts/datasheet/DVL-Publikation-Fachpublikation_Jakobs-Kreuzkraut_Meiden_Dulden_Bekaempfen.pdf.
- Ma, C., Y. Liu, L. Zhu, H. Ji, X. Song, H. Guo, T. Yi, 2018a:** Determination and regulation of hepatotoxic pyrrolizidine alkaloids

- in food: A critical review of recent research. *Food and Chemical Toxicology* **119**, 50-60, DOI: 10.1016/j.fct.2018.05.037.
- Ma, J., Q. Xia, P.P. Fu, G. Lin, 2018b:** Pyrrole-protein adducts-A biomarker of pyrrolizidine alkaloid induced hepatotoxicity. *Journal of Food and Drug Analysis* **26**, 965-972, DOI: 10.1016/j.jfda.2018.05.005.
- Macel, M., K. Vrieling, P.G.L. Klinkhamer, 2004:** Variation in pyrrolizidine alkaloid patterns of *Senecio jacobaea*. *Phytochemistry* **65**, 865-873, DOI: 10.1016/j.phytochem.2004.02.009.
- Macel, M., 2011:** Attract and deter: a dual role for pyrrolizidine alkaloids in plant – insect interactions. *Phytochemistry Reviews* **10**, 75-82, DOI: 10.1007/s11101-010-9181-1.
- McLaren, D.A., J.E. Ireson, R.M. Kwong, 2000:** Biological control of ragwort (*Senecio jacobaea* L.) in Australia. In: Spencer NR (ed) Proceedings of the X International Symposium on Biological Control of Weeds 1999, Montana, 67–79.
- Mendel, V.E., M.R. Witt, B.S. Gitchell, D.N. Gribble, Q.R. Rogers, H.J. Segall, H.D. Knight, 1988:** Pyrrolizidine alkaloid-Induced liver disease in horses: an early diagnosis. *American Journal of Veterinary Research* **49**(4), 572-578.
- Merz, K.-H., D. Schrenk, 2016:** Interim Relative Potency Factors for the Toxicological Risk Assessment of Pyrrolizidine Alkaloids in Food and Herbal Medicines. *Toxicology Letters* **263**, 44-57, DOI: 10.1016/j.toxlet.2016.05.002.
- Moreira, R., D.M. Pereira, P. Valentão, P.B. Andrade, 2018:** Pyrrolizidine Alkaloids: Chemistry, Pharmacology, Toxicology and Food Safety. *International Journal of Molecular Science* **19** (6), pii:E1668, DOI: 10.3390/ijms19061668.
- Mulder, P.P.J., B. Beumer, E. Oosterink, J. de Jong, 2009:** Dutch survey on pyrrolizidine alkaloids in animal forage. Report No. 2009.518. Wageningen (The Netherlands): RIKILT, URL: <https://edepot.wur.nl/135952>.
- Mulder, P.P.J., P. López, M. Castelari, D. Bodi, S. Ronczka, A. Preiss-Weigert, A. These, 2018:** Occurrence of pyrrolizidine alkaloids in animal- and plant- derived food results of a survey across Europe. *Food Additives & Contaminants Part A* **35** (1), 118-133, DOI: 10.1080/19440049.2017.1382726.
- Neumann, H., A. Huckauf, 2016:** Jakobs-Kreuzkraut (*Senecio jacobaea*): eine Ursache für Pyrrolizidin-Alkaloide im Sommerhonig? *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit* **11**, 105-115, DOI: 10.1007/s00003-015-0986-0.
- Nitzsche, J., A. Plescher, S. Wahl, 2018:** Pyrrolizidinalkaloid-haltige Beikräuter in Arznei- und Gewürzpflanzenkulturen – Verbreitung und Gefahr der Kontamination von Ernteprodukten in Deutschland. Tagungsband 28. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 27.2. – 1.3.2018 in Braunschweig. *Julius-Kühn-Archiv* **458**, 408-418, DOI: 10.5073/jka.2018.458.060.
- Nowak, M., C. Wittke, I. Lederer, B. Klier, M. Kleinwächter, D. Selmar, 2016:** Interspecific transfer of pyrrolizidine alkaloids: An unconsidered source of contaminations of phytopharmaceuticals and plant derived commodities. *Food Chemistry* **213**, 163-168, DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.06.069.
- Peter, F., U. Hoffmann, T.W. Donath, T. Diekötter, 2021:** Sown wildflower fields are an efficient measure to reduce visitation rates of honeybees and other pollinating insects on *Jacobaea vulgaris*. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **307**, 107231, DOI: 10.1016/j.agee.2020.107231.
- Reichling, J., K.-H. Horz, E. Röder, 2019:** Senecio. In: Hagers Enzyklopädie der Arzneistoffe und Drogen. Blaschek, W., S. Ebel, U. Hilgenfeldt, U. Holzgrabe, J. Reichling (Eds.). DrugBase online. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- Richtlinie, 2002:** Richtlinie 2002/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 7. Mai 2002 über unerwünschte Stoffe in der Tierernährung. Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 140 vom 30. Mai 2002, URL: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:aca28b8c-bf9d-444f-b470-268f71df28fb.0002.02/DOC_1&format=PDF.
- Ruan, J., M. Yang, P. Fu, Y. Ye, G. Lin, 2014:** Metabolic Activation of Pyrrolizidine Alkaloids: Insights into the Structural and Enzymatic Basis. *Chemical Research in Toxicology* **27**, 1030-1039, DOI: 10.1021/tx500071q.
- Schramm, S., N. Köhler, W. Rozhon, 2019:** Pyrrolizidine Alkaloids: Biosynthesis, Biological Activities and Occurrence in Crop Plants. *Molecules* **24** (3), 498, DOI: 10.3390/molecules24030498.
- Schrenk, D., L. Gao, G. Lin, C. Mahony, P.P.J. Mulder, A. Peijnenburg, S. Pfuhrer, I.M.C.M. Rietjens, L. Rutz, B. Steinhoff, A. These, 2020:** Pyrrolizidine alkaloids in food and phytomedicine: Occurrence, exposure, toxicity, mechanisms, and risk assessment – A review. *Food and Chemical Toxicology* **136**, 111107, DOI: 10.1016/j.fct.2019.111107.
- Schrenk, D., J. Fahrner, A. Allemang, P. Fu, G. Lin, C. Mahony, P.P.J. Mulder, A. Peijnenburg, S. Pfuhrer, I.M.C.M. Rietjens, B. Sachse, B. Steinhoff, A. These, J. Troutman, J. Wiesner, 2021:** Novel Insights in Pyrrolizidine Alkaloid Toxicity and Implications for Risk Assessment: Occurrence, Genotoxicity, Toxicokinetics, Risk Assessment – A Workshop Report. *Planta Medica*. Epub ahead of print 29 October 2021, DOI: 10.1055/a-1646-3618.
- Selmar, D., C. Wittke, I. Beck-von Wolfersdorff, B. Klier, L. Lewerenz, M. Kleinwächter, M. Nowak, 2019:** Transfer of pyrrolizidine alkaloids between living plants: A disregarded source of contaminations. *Environmental Pollution* **248**, 456-461, DOI: 10.1016/j.envpol.2019.02.026.
- Starfinger, U., I. Kowarik, 2005:** *Senecio inaequidens*. In *Neobiota.de*. Gebietsfremde und invasive Arten in Deutschland. Bundesamt für Naturschutz, URL: <https://neobiota.bfn.de/handbuch/gefaesspflanzen/senecio-inaequidens.html>.
- Stegelmeier, B.L., D.R. Gardner, L.F. James, R.J. Molyneux, 1996:** Pyrrole detection and the pathologic progression of *Cynoglossum officinale* (houndstongue) poisoning in horses. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation* **8**, 81-90, DOI: 10.1177/104063879600800113.
- Stegelmeier, B.L., J.A. Edgar, S.M. Colegate, D.R. Gardner, T.K. Schoch, R.A. Coulombe, R.J. Molyneux, 1999:** Pyrrolizidine alkaloid plants, metabolism and toxicity. *Journal of Natural Toxins* **8** (1), 95-116.

Stegelmeier, B.L., S.M. Colegate, A.W. Brown, 2016: Dehydropyrrolizidine Alkaloid Toxicity, Cytotoxicity, and Carcinogenicity. *Toxins* **8** (12), pi 356, DOI: 10.3390/toxins8120356.

Steinhoff, B., 2021: Pyrrolizidine Alkaloid Contamination in Medicinal Plants: Regulatory Requirements and Their Impact on Production and Quality Control of Herbal Medicinal Products. *Planta Medica* **88** (02), 125-129, 10.1055/a-1494-3623.

Süddeutsche Zeitung, 2020: „Raupe to go“ gegen Giftpflanzen. 3. Dezember 2020, URL: <https://www.sueddeutsche.de/muenchen/starnberg/krailling-unkraut-blutbaeren-raupe-1.5132689>.

Tron, N., G. Maier, H. Schulte, A. Krähmer, 2020: NIRS basierte Detektion und Entfernung Pyrrolizidinalkaloid-haltiger Unkräuter aus Kulturpflanzen nach der Ernte – PA-NIRSort. *Journal für Kulturpflanzen* **72** (4), 88–98, DOI: 10.5073/JfK.2020.04.05.

Verordnung, 2020: Verordnung (EU) 2020/2040 der Kommission vom 11. Dezember 2020 zur Änderung der Verord-

nung (EG) Nr. 1881/2006 hinsichtlich der Höchstgehalte an Pyrrolizidinalkaloiden in bestimmten Lebensmitteln. Amtsblatt der EU Nr. L 420 vom 14. Dezember 2020, URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R2040&from=DE>.

Wiedefeld, H., J. Edgar, 2011: Toxicity of pyrrolizidine alkaloids to humans and ruminants. *Phytochemistry Reviews* **10**, 137-151, DOI: 10.1007/s11101-010-9174-0.

Witte, L., L. Ernst, H. Adam, T. Hartmann, 1992: Chemotypes of two pyrrolizidine alkaloid-containing Senecio species. *Phytochemistry* **31**, 559–565, DOI: 10.1016/0031-9422(92)90038-R.

Zehm, A., 2017: Auf welchen Flächen mit Relevanz für den Naturschutz sollen welche Kreuzkräuter reguliert werden? In: *Kreuzkräuter und Naturschutz*. Deutscher Verband für Landschaftspflege (DVL). Ansbach, 25-36, URL: http://www.kreuzkraut.de/fileadmin/user_upload/data_files/Publikationen/Broschueren/Kreuzkraut-Tagungsband-Web.pdf.