

Umgang mit Alkaloiden in Lupinensamen

Alkaloide sind stickstoffhaltige organische Verbindungen, die in vielen zur menschlichen Ernährung geeigneten Pflanzen natürlicherweise vorkommen, wie z.B. Koffein in der Kaffeepflanze oder Solanin in Kartoffeln. Sie dienen der Pflanze in der Regel als Abwehrstoffe gegen Fraßfeinde,¹ schädliche Mikroorganismen und konkurrierende Pflanzen. Für Mensch und Tier können sie im Übermaß giftig wirken. Mit der steigenden Bedeutung von Lupinen in der Humanernährung wie auch in der Tierfütterung nimmt die Relevanz des Alkaloidgehalts zu.

In Lupinen können ca. 170 verschiedene Einzelalkaloide vorkommen, von denen fast alle toxisch sind. Die aufgrund ihrer Toxizität relevanten Alkaloide sind vom Typ der Chinolizidin-Alkaloide.² Diese haben meist einen bitteren Geschmack und können bei übermäßigem Konsum zu Vergiftungen mit typischen Vergiftungssymptomen wie Schwindel, Herzrasen, Übelkeit oder motorischem Kontrollverlust führen. Sehr hohe Dosen können zu Herzstillstand oder Atemlähmung führen. Bei durchschnittlichem Verzehr von Süßlupinen bzw. Süßlupinenprodukten besteht keine Gefahr für Vergiftungserscheinungen. Die Zusammensetzung der Alkaloide hängt von der Lupinenart ab. In Tabelle 1 sind die wichtigsten Einzelalkaloide der relevantesten Lupinenarten aufgeführt:³

Tabelle 1: Die Chinolizidin-Alkaloide mit den höchsten Anteilen je Lupinenart.⁴

Weißer Lupine <i>Lupinus albus</i>	Schmalblättrige (Blaue) Lupine <i>Lupinus angustifolius</i>	Gelber Lupine <i>Lupinus luteus</i>	Andenlupine <i>Lupinus mutabilis</i>
Albin Lupanin Multiflorin 13-Hydroxylupanin	Lupanin Angustifolin 13-Hydroxylupanin	Lupinin Sparteine	Lupanin 13-Hydroxylupanin 3-Hydroxylupanin Sparteine Tetrahydrohombifolin

Warum können Süßlupinen bitter sein?

Die landwirtschaftlich genutzten Lupinenarten Blaue, Weiße und Gelbe Lupine stammen jeweils von Bitterlupinengenotypen ab, von denen in den 1920er Jahren Sorten mit geringeren Alkaloidgehalten selektiert wurden. Bis zu diesem Zeitpunkt wurden Lupinen nur nach einer vorherigen Entbitterung durch Einweichen und Auswaschen für den menschlichen Verzehr genutzt. Bitterstoffarme Sorten der Blauen Lupinen kamen erst im Jahr 1997 auf den Markt. Trotz der Züchtung auf bitterstoffarme Typen, kann es aber nach wie vor zu erhöhten Alkaloidgehalten in Lupinen kommen.

Dies hat folgende Gründe:

- Lupinen sind fakultative Fremdbefruchter.⁵ Blüten zeitgleich zu Süßlupinen Bitterlupinen der gleichen Art in Blühstreifen, etc. kann es zur Rückkreuzung von bitteren mit Süßlupinen kommen.

Gefördert durch



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

Projekträger



Bundesanstalt für
Landwirtschaft und Ernährung

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

im Rahmen der BMEL Eiweißpflanzenstrategie

legunet.de



- Für die Alkaloidarmut von Süßlupinen sind verschiedene, oft unabhängig wirksame, Gene verantwortlich. Dadurch besteht die Möglichkeit, dass durch die gegenseitige Befruchtung zweier Süßlupinensorten im Feld bittere Samen ausgebildet und in der Folge mit geerntet werden.⁶ Eine natürliche Kreuzung zwischen den in Deutschland in der Regel angebauten Lupinenarten (Blaue, Weiße und Gelbe Lupine) findet nicht statt.
- Zur Vermeidung zunehmender Alkaloidgehalte durch Rückkreuzung ist eine fachlich fundierte Erhaltungszucht und eine qualitätsgestützte Saatgutvermehrung auf Flächen, die in der Vergangenheit nicht mit Bitterlupinen kontaminiert wurden, notwendig. Der Alkaloidgehalt in eigentlich bitterstoffarmen Lupinen kann durch Bedingungen, die bei den Pflanzen Stress verursachen, erhöht sein. Umweltbedingungen, wie hohe Temperaturen, hohe Strahlungsintensitäten sowie Trockenheit sind hier die größten Stressoren. Aber auch ein vermehrter Befall durch Schadinsekten kann eine verstärkte Bildung von Alkaloiden bewirken. Die Kombination mehrerer Stressfaktoren kann die Auswirkungen verstärken.⁷ Die durch Stressfaktoren erhöhten Alkaloidgehalte im Erntegut fixieren sich nicht genetisch.

Welche Maßnahmen können landwirtschaftliche Betriebe ergreifen, um die Alkaloidgehalte gering zu halten?

- Es sollte immer **nur eine Lupinensorte** je Art im Betrieb angebaut werden.
- Die ausschließliche Verwendung von Z-Saatgut. Der Nachbau von sortengeschützten Lupinen (außer Gelbe Lupine) ist in Deutschland verboten.*
8
- Lupinen können aufgrund ihrer harten Schale längere Zeit keimfähig im Boden verweilen, die genaue Dauer ist wissenschaftlich noch nicht geklärt. Daher wird empfohlen, auf Flächen, auf denen in der jüngeren Vergangenheit bereits Bitterlupinen (z. B. in Zwischenfruchtmischungen) angebaut wurden, keine Süßlupinen anzubauen, um eine Vermischung und Kreuzung durch Durchwuchslupinen zu minimieren.
- In unmittelbarer Umgebung der Anbaufläche sollten keine Bitterlupinen der gleichen Art in Zwischenfrucht- und Blümmischungen wachsen.
- Nur reife Lupinenbestände ernten. Grüne Körner weisen erhöhte Alkaloidwerte auf und können bei der Reinigung der Rohware nur schwer abgetrennt werden.

Rechtliche Rahmenbedingungen in Deutschland

In Deutschland gibt es derzeit keine rechtlich bindende Höchstgrenze für Alkaloidgehalte in Lupinensamen. Der allgemein angenommene Richtwert für die Einordnung als Süßlupine liegt bei einem Alkaloidhöchstwert von 500 mg/kg (= 0,05

* Bei der Blauen Lupine kann der jeweilige Sortenschutzinhaber bereit sein, gegen Auskunftserteilung seine Zustimmung zur Wiederaussaat von Erntegut im eigenen Betrieb zu geben. Eine Lizenzgebühr wird fällig.

%) in der Trockensubstanz.^{5 9} Laut der VO (EU) 68/2013 sind nur Süßlupinen als Futtermittel gelistet.¹⁰

Für die Humanernährung wird international ein Alkaloidhöchstwert von 200 mg/kg (= 0,02 %) in der Trockensubstanz der verwendeten Lupinenrohware angewandt. Dieser Wert orientiert sich damit an Verordnungen aus anderen Ländern.³ Um ein sicheres Lebensmittel zu gewährleisten, sollten die Lupinen vor der Verarbeitung auf den Alkaloidgehalt getestet werden.

Entbitterung

Es existieren biologische, chemische und wasserbasierte Entbitterungsverfahren, wobei aktuell nur das wasserbasierte Entbitterungsverfahren kommerziell genutzt wird.^{2 11 12} Da Alkaloide wasserlöslich sind, kann der Gehalt durch eine Kombination aus Einweichen, Kochen und Waschen reduziert werden, wie es auch traditionell bei den Bitterlupinen praktiziert wird.⁵ Die Abfolge von Einweichen, Abspülen und Kochen der Samen sollte bei einem häufigen Wechsel des Wassers so lange wiederholt werden (meist 5-7 Tage), bis die Lupinensamen nicht mehr bitter schmecken. Je nach Dauer, Verfahren und Lupinensorte, können dabei bis zu 97 % der Alkaloide entfernt werden.³ ⁵ Der hohe Wasserverbrauch dieses Prozesses kann laut einer Studie aus dem Jahr 2020 durch die Verwendung von Salzlake reduziert werden.¹³ Alkaloide sind hitzebeständig, weshalb ein trockenes Erhitzen (Toasten, o.ä.) keine Reduzierung der Alkaloide bewirkt. Da bei wasserbasierten Entbitterungsverfahren auch wertvolle Inhaltsstoffe verloren gehen, wird aktuell an alternativen Methoden, z.B. über Membranverfahren geforscht. Zusätzlich sind weitere Forschungserkenntnisse nötig, um biologische Verfahren, wie z.B. Fermentation oder chemische Verfahren sicher anwenden zu können bzw. den Zeit- und Wasserverbrauch bei der Entwässerung zu optimieren.

Fütterung

Derzeit gibt es keine Ergebnisse aus Fütterungsversuchen, in denen unterschiedlich hohe Alkaloidgehalte geprüft wurden. Insofern gelten die allgemeinen Fütterungsempfehlungen zum Einsatz von Lupinen in den Futterrationen, wobei generell eine Untersuchung auf den Alkaloidgehalt für jede Lupinencharge empfohlen wird.

Wiederkäuerfütterung

Bei der Fütterung von Süßlupinen an Wiederkäuer ist besonders die Transferrate von Alkaloiden in die Milch relevant.¹⁴ Die Transferrate scheint bei geringeren Alkaloidgehalten höher zu sein, als bei höherer Alkaloidaufnahme.¹⁵ Die tägliche Fütterungsmenge sollte an die Menge an Alkaloiden, die die Lupinensamen enthalten, angepasst werden.

Auf Basis eigener Berechnungen wird bei einem täglichen Einsatz von 2 kg Lupinensamen pro Kuh in der Futterration empfohlen, den Alkaloidwert von 500 mg/kg nicht zu überschreiten.

Schweinefütterung

Auch für die Fütterung von Schweinen sind nur Süßlupinensorten gelistet. Schweine reagieren empfindlich auf den bitteren Geschmack bei erhöhten Alkaloidgehalten.¹⁶ Monogastrier tolerieren in der Regel Alkaloidgehalte von 0,03 % in der Gesamtration. Es gibt jedoch Beobachtungen, dass Schweine bereits auf niedrigere Konzentrationen mit geringerer Futteraufnahme reagieren. Das Wachstum von Jungtieren kann bereits bei Gehalten von 0,02 % in der Gesamtration beeinträchtigt sein.¹⁷

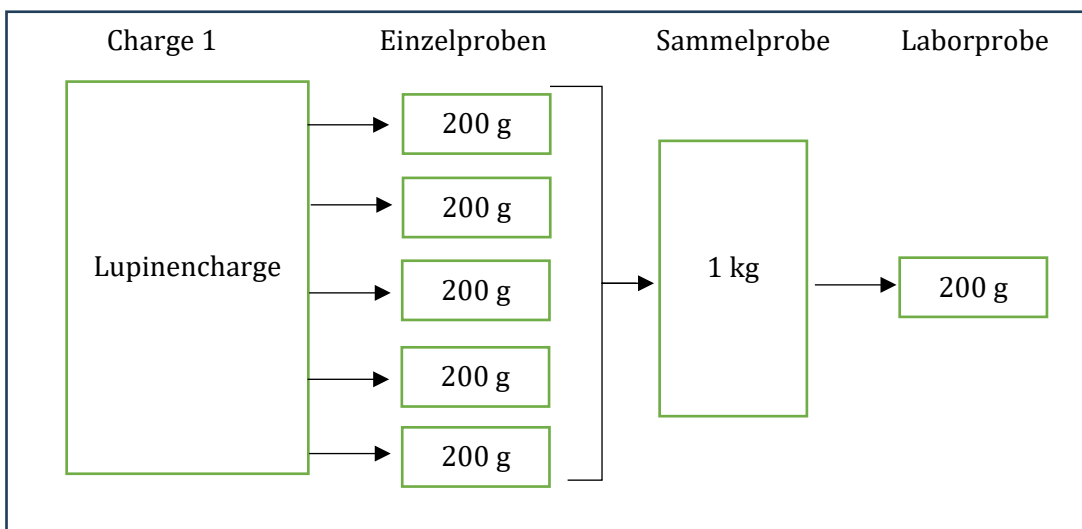
Geflügelfütterung

Da Lupinen arm an Methionin sind, ist der Einsatz in der Fütterung von Biogeflügel begrenzt, während diese Aminosäure im konventionellen Bereich durch synthetische Aminosäuren ergänzt werden kann. Eine langsame Umstellung ist sinnvoll, da auch Geflügel empfindlich auf den bitteren Geschmack reagiert.

Analyse des Alkaloidgehalts

Die Probennahme und Analyse des Alkaloidgehaltes sollten nach der ersten groben Reinigung der Ernte erfolgen. Es ist möglich, dass nur einzelne Samen innerhalb einer Charge einen erhöhten Alkaloidgehalt aufweisen. Aus diesem Grund muss eine Probe aus mehreren ähnlich großen Teilproben einer Charge gezogen werden, um eine repräsentative Mischprobe zu erhalten. Dabei gilt es zu beachten, dass die Teilproben nicht nur aus einer Schicht (z.B. ganz oben) oder aus nur einem Big Pack gezogen werden. Die repräsentative Probe wird dann durch das Vermischen der Teilproben erzeugt und muss mindestens 200 g betragen. Verschiedene Chargen (von verschiedenen Feldern oder Betrieben) sollten getrennt gelagert werden, bis die jeweiligen Alkaloidgehalte bekannt sind. So wird die Vermischung von Lupinenchargen mit unterschiedlichen, insbesondere höheren Alkaloidgehalten verhindert.⁴

Abbildung 1: Schema zur Entnahme der Probe (in Anlehnung an⁴)



Labore

In Deutschland gibt es einige Labore, die den Gesamtalkaloidgehalt von Lupinensamen analysieren. Bei der Auswahl der Labore ist zu beachten, dass es **alle** für die jeweilige Lupinenart relevanten Alkaloide analysiert (siehe Tabelle auf Seite 1). Besonders relevant ist dies bei der Weißen Lupine, da nicht alle Labore das Alkaloid Albin standardmäßig analysieren.

Tabelle 2: Labore in Deutschland, die die Alkaloidanalyse von Lupinen anbieten inklusive Analyseumfang (Stand September 2023)

Labor	Methode	Analyseumfang (Stand September 2023)	Web	Mail
Eurofins Scientific AG	LC-MS/MS ¹	5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13	www.eurofins.de/vej-contaminants	vej-contaminants@eurofins.de
JenaBios GmbH	HPLC-MS/MS ²	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13	www.jenabios.de	info@jenabios.de
PiCA GmbH	LC-MS/MS ¹	5, 7, 8, 9, 10, 12, 13 und zusätzlich auf Nachfrage 3	www.pica-berlin.de	sales@pica-berlin.de

¹Flüssigkeitschromatographie-Massenspektrometrie/Massenspektrometrie

²Hochleistungsflüssigkeitschromatographie-Massenspektrometrie/Massenspektrometrie

³Albin, ⁴Anagyrin, ⁵Angustifolin, ⁶Cytisin, ⁷13-Hydroxylupamin, ⁸Alpha-Isolupanin, ⁹Lupinin, ¹⁰Lupinin, ¹¹Matrine, ¹²Multiflorin, ¹³Sparteine

Aktuelle Forschungsvorhaben

Folgende, in Tabelle 3 gelistete Forschungsprojekte haben verschiedene Aspekte zum Thema Alkaloide bei Lupinen zum Gegenstand. Sie sollten neue Ergebnisse und Erkenntnisse liefern sowie Wege und Maßnahmen beschreiben, die geeignet sind, den Alkaloidgehalt von Süßlupinen in Züchtung und Anbau zu vermindern.

Tabelle 3: Aktuelle Forschungsvorhaben zu Alkaloiden in Lupinen

Projektname	Inhalt	Laufzeit
AlkaLyt	Entwicklung einer Methode zur Analyse sekundärer Pflanzen-Inhaltsstoffe unter besonderer Berücksichtigung der Lupinenalkaloide.	2021-2024
BitterSweet	Stabilisierung der Alkaloidarmut auf niedrigem Niveau zur Sicherung eines zukunftsfähigen Anbaus der Weißen Lupine.	2023-2026
LupiAlk	Nutzung genetischer Ressourcen der Schmalblättrigen Lupine (<i>Lupinus angustifolius</i> L.) zur Sicherung der Alkaloidarmut für die Feed- und Foodverwendung.	2023-2026

Luprome	Erschließung des Potentials der schmalblättrigen Bitterlupine (<i>Lupinus angustifolius</i> L.) für die Humanernährung.	2020-2023
P³roLucas	Untersuchung potenzieller Determinanten für die Einführung von Lupinen und Biostimulanzien als kombinierte Innovation durch die Landwirte.	2022-2025

Text: Carina Bichler-Scherwitz, Dr. Herwart Böhm, Pauline Eichenseer, Maximilian Mielack, Annemarie Ohlwärter, Katharina Rusch, Harald Sievers, Manuela Specht, Rebecca Thoma, Werner Vogt-Kaute, Dr. Alexandra Wichura, Petra Zerhusen-Blecher

1. Auflage, 07.12.2023; Stand der Recherche: 03.11.2023

Redaktion: Hella Hansen

Literatur

- ¹ Frick K.M., Kamphuis L.G., Siddique K.H.M., Singh K.B. & Foley R.C. (2017). Quinolizidine Alkaloid Biosynthesis in Lupins and Prospects for Grain Quality Improvement. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00087>.
- ² European Food Safety Authority (2023). Contaminants in the food chain. *European Food Safety Authority*. <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/5860>.
- ³ Bundesinstitut für Risikobewertung (2017). Risikobewertung des Alkaloidvorkommens in Lupinensamen. *Stellungnahme 003/2017 des BfR vom 27. März 2017*. <https://mobil.bfr.bund.de/cm/343/risikobewertung-des-alkaloidvorkommens-in-lupinensamen.pdf>.
- ⁴ Brändle, I., Arncken, C., Kretschmar, U., Nicod, L., & Lazzaro, M. (2023). Alkaloidanalyse bei Lupinen. <https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1363-alkaloidanalyse-lupinen.pdf>.
- ⁵ Hackbarth, J. & Troll, H.J. (1959). Lupinen als Körnerleguminosen und Futterpflanzen. In H. Kappert & W. Rudolf (Hrsg.), *Handbuch der Pflanzenzüchtung* (4.Band, S. 11ff.). Berlin: Paul Parey.
- ⁶ Böhme, A., Dietze, M., Gefrom, A., Priepke, A., Schachler, B., Struck, C., Wehling, P. (2016). *Lupinen - Anbau und Verwertung* [Broschüre]. https://lupinenverein.de/wp-content/uploads/2021/05/GFL-LUPINEN-Broschuere_2016.pdf.
- ⁷ Rodés-Bachs, C. & Van der Fels-Klerx, H.J. (2023). Impact of environmental factors on the presence of quinolizidine alkaloids in lupins: a review, *Food Additives & Contaminants: Part A*, 40(6), 757-769. <https://doi.org/10.1080/19440049.2023.2217273>.

- ⁸ Saatgut-Treuhandverwaltungs GmbH (STV) (2023, 29. September). *Nachbau und Aufbereitung von Soja und Lupine*. <https://www.stv-bonn.de/inhalt/wissenswertes/nachbau-und-aufbereitung-von-soja-und-lupine>.
- ⁹ Jürgens, H. U., Jansen, G., & Kuhlmann, J. (2007, 20.-23. März). *Züchterische Bearbeitung von Süßlupinen für den ökologischen Landbau. Variabilität wichtiger Inhaltsstoffe in Abhängigkeit vom Standort* [Tagungsbeitrag]. https://orgprints.org/id/eprint/9524/1/9524_J%C3%BCrgens_Poster.pdf.
- ¹⁰ Verordnung (EU) Nr. 68/2013 der Kommission zum Katalog der Einzelfuttermittel (Text von Bedeutung für den EWR) (2013, 16. Januar). <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:029:0001:0064:DE:PDF>.
- ¹¹ Schryvers, S., Arinzchukwu, C., Miserez, B., Eeckhout, M., & Jacxsens, L. (2023). The fate of quinolizidine alkaloids during the processing of lupins (*Lupinus* spp.) for human consumption. *Food Chemistry*, 429, 136847. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136847>.
- ¹² Carvajal-Larenas, F., Linnemann, A., Nout, M., Koziol, M., & Van Boekel, M. (2015). *Lupinus mutabilis*: Composition, Uses, Toxicology, and Debitting. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(9), 1454–1487. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.772089>.
- ¹³ Villacrés, E., Alvarez, J. C., & Rosell, C. M. (2020). Effects of two debittering processes on the alkaloid content and quality characteristics of lupin (*Lupinus mutabilis* Sweet). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(5), 2166–2175. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10240>.
- ¹⁴ Engel, A. M., Klevenhusen, F., Moenning, J., Numata, J., Fischer-Tenhagen, C., Sachse, B., Schäfer, B., Fry, H., Kappenstein, O. & Pieper, R. (2022). Investigations on the transfer of quinolizidine alkaloids from *Lupinus angustifolius* into the milk of dairy cows. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(37), 11749–11758. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c02517>.
- ¹⁵ Ped, S., Harig, P. & Dusel, G. (2023, 25.-26. April). *Einsatz von Weißen Lupinen in der Milchkuhfütterung*. Forum Angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung: Tagungsunterlage: Beiträge der Veranstaltung vom 25. und 26. April 2023. Bad Sassendorf: Verband der Landwirtschaftskammern, 51-54.
- ¹⁶ Kim, J., Pluske, J. & Mullan, B. (2007). Lupins as a protein source in pig diets. *Cab Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 2007. <https://doi.org/10.1079/pavsnr20072003>.
- ¹⁷ Rückert, C. (2022, 11. Juli). *Chinolizidinalkaloide in der Tierernährung*. Der Fütterungsberater. https://www.lkvsachsen.de/fileadmin/Redaktion/LKSLabor/Blog/Media-2022/45_-_Chinolizidinalkaloide.pdf.

Wir bedanken uns ganz herzlich bei folgenden Personen, die die Broschüre Korrektur gelesen haben, für die wertvollen Anmerkungen:
Claus Wiegmann-Marx (Deutsche Saatveredelung AG), Prof. Dr. Michael Wink (Universität Heidelberg)