

M. Wink (Hrsg.)

LUPINEN IN FORSCHUNG UND PRAXIS



1998

M. Wink (Hrsg.)

LUPINEN IN FORSCHUNG UND PRAXIS

©Verlag M. Rasmussen
Postfach 140110
67021 Ludwigshafen

1998

ISBN 3-931507-01-7

Herausgeber:

Prof. Dr. Michael Wink
Institut für Pharmazeutische Biologie
Universität Heidelberg
Im Neuenheimer Feld 364
D-69120 Heidelberg

Fax: 06221 544884

e-mail: michael.wink@urz.uni-heidelberg.de

©Verlag M. Rheinheimer
Postfach 140110
67021 Ludwigshafen

ISBN 3-931507-01-7

VORWORT

Die Heidelberger Lupinentagungen haben bereits eine gewisse Tradition, da hier im regelmäßigen Abstand von 2 bis 3 Jahren die Wissenschaftler und Praktiker, die mit und über Lupinen arbeiten, zusammenkommen, um die Ergebnisse ihrer Arbeit zu diskutieren.

Die 1. Heidelberger Lupinentagung fand 1990, die 2. Tagung 1991 statt (*M. Wink (1992): Lupinen 1991-Forschung, Anbau und Verwertung*). Das Ergebnis der 3. Lupinentagung 1994 wurde 1995 publiziert: *M. Wink (1995): Fortschritte in der Lupinenforschung und im Lupinenanbau*. Vom 27.11.97 bis 28.11.97 fand im Internationalen Wissenschaftsforum die 4. Heidelberger Lupinentagung statt, auf der 15 Vorträge gehalten wurden. Das Ergebnis dieser Tagung ist im vorliegenden Proceedingsband „Lupinen in Forschung und Praxis“ dokumentiert, um es einem größeren Kreis von Interessierten zugänglich zu machen.

Frau I. Selg und Frau I. Höß möchte ich für die organisatorische Hilfe bei der Ausrichtung der Tagung und dem IWF für die freundliche Aufnahme und Gastfreundschaft danken.

Heidelberg, den 15.07.1998

Michael Wink

Autorenverzeichnis

Autor	Seite
R. Albrecht	pp 143
K. Bermudez	pp 27
R. Binsack	pp 9
B. Dittmann	pp 131, 167
U. Feiler	pp 117
J. Gerke	pp 15
M. Gutmann	pp 179
K. Mastel	pp 161
J. Ott	pp 161
P. Römer	pp 99
W. Römer	pp 15
U. Schmiechen	pp 89
J. Toth	pp 53
A. Tei	pp 65
M. Wink	pp 41, 53, 65

INHALTSVERZEICHNIS

RÜCKBLICK AUF DIE FÖRDERUNG DER LUPINE DURCH DIE GTZ IN DEN JAHREN 1972 BIS 1993	9
Zusammenfassung	9
Abstract	9
Einleitung	9
Die Ziele der Arbeiten mit Lupinen	10
Die Methoden der Arbeiten mit Lupinen	10
Die wesentlichen Ergebnisse der Arbeiten mit Lupinen	11
PHOSPHAT- UND EISENMOBILISIERUNG DURCH WURZELEXSUDATE BEI <i>LUPINUS ALBUS L.</i>	15
Zusammenfassung	15
Abstract	16
Einleitung	16
Material und Methoden	17
Ergebnisse und Diskussion	19
Schlußfolgerungen:	24
Literatur	24
VORKOMMEN UND VERBREITUNG DER LUPINEN IN MEXIKO	27
Zusammenfassung	27
Abstract	27
Resumen	28
Einleitung	28
Literaturverzeichnis	40
ANTINUTRITIVE FAKTOREN (ANFS) IN KÖRNERLEGUMINOSEN	41
Zusammenfassung	41
Abstract	41
Einleitung	42
Vorkommen von nutzbaren Pflanzenarten innerhalb der Leguminosen	43

Eliminierung von ANFs	51
Literatur	52
ISOFLAVONE IN LUPINEN: MÖGLICHE GESUNDHEITLICHE KONSEQUENZEN.	53
Zusammenfassung	53
Summary	53
Einleitung	53
Isoflavonoide und Krebs	55
Biochemie und Pharmakodynamik von Genistein	56
Diätäre Nutzung und Verarbeitung von Lebensmitteln mit Isoflavonoiden	61
Literatur	61
EINFÜHRUNG IN DIE ANALYTIK VON LUPINENALKALOIDEN MITTELS GC-MS	65
Zusammenfassung	65
Abstract	65
Einleitung:	66
Was sind Alkaloide ?	67
Material und Methoden	68
Ergebnisse:	84
Diskussion	87
Literatur	87
DIE BEDEUTUNG DES LUPINENANBAUS IN DEUTSCHLAND	89
Zusammenfassung	89
Abstract	89
Die Entwicklung des Lupinenanbaus in Ost- und Wstdeutschland	89
Aktuelle Situation des Lupinenanbaus	91
Besonderheiten und Vorzüge der Lupine	93
Literatur:	96
ANTHRACNOSE 1997: BESTANDSAUFNAHME UND LÖSUNGSANSÄTZE	99
Zusammenfassung	99
Abstract	99

Einleitung - Allgemeine Situation	99
Versuche zur chemischen Bekämpfung der Anthracnose	104
Diskussion, Schlußfolgerungen und Ausblick zur Bekämpfung der Anthracnose mit chemischen Mitteln	113
Dank	114
Literatur	115
ANTHRACNOSE AN LUPINEN - ÜBERBLICK BISHERIGER FORSCHUNGSERGEBNISSE	117
Zusammenfassung	117
Abstract	117
Einleitung	117
Untersuchungsprogramm	119
Untersuchungen zur Biologie und Morphologie des Erregers	126
Schlußbetrachtung	128
Dank	129
Literatur	129
ERSTE ERGEBNISSE ZUR ANTHRACNOSEBEKÄMPFUNG BEI LUPINEN	131
Zusammenfassung	131
Abstract	131
Einleitung	132
Material und Methoden	133
Ergebnisse und Diskussion	135
UNTERSUCHUNGEN ZUM VORFRUCHTWERT GROßKÖRNIGER LEGUMINOSEN UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER WEIßEN LUPINE	143
Zusammenfassung	143
Abstract	143
Einleitung	144
Material und Methoden	144
Ergebnisse	147
Untersuchungen zum Vorfruchtwert von Weißen Lupinen 1994 - 1996 (Versuch 1)	147
Untersuchungen zum Vorfruchtwert von Körnerleguminosen 1996 - 1998 (Versuch 2)	149

Diskussion	158
Literatur	159
LANDESSORTENVERSUCHE LUPINEN IN BADEN-WÜRTTEMBERG (1995-97)	161
Zusammenfassung	161
Abstract	161
Einleitung:	161
Material und Methoden:	162
Ergebnisse und Diskussion:	162
UNKRAUTBEKÄMPFUNG IN GELB- UND WEIßLUPINE	167
Zusammenfassung	167
Abstract	167
Einleitung	168
Material und Methoden	169
Ergebnisse und Diskussion	170
Literatur	177
SÜßLUPINE - MÖGLICHKEITEN DER VEREDELUNG ZU LEBENSMITTELN IM ERZEUGERBETRIEB	179
ZUSAMMENFASSUNG	179
Abstract	179
EINLEITUNG	180
EIGENE UNTERSUCHUNG	183
DISKUSSION	185
LITERATUR	187

Rückblick auf die Förderung der Lupine durch die GTZ in den Jahren 1972 bis 1993

Rudolf Binsack
Kastanienstraße 9
61352 Bad Homburg

Zusammenfassung

In den Jahren 1972 bis 1993 hat die Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) eine ganze Reihe von Maßnahmen durchgeführt mit dem Ziel, den Anbau und die Verwendung von Lupinen als Nahrungs- und Futtermittel in einigen Entwicklungsländern zu fördern. Diesem Zweck dienten ca. 15 verschiedene Projekte, und zwar regional begrenzte Projekte in Peru, Bolivien und Brasilien sowie überregionale Maßnahmen wie die Erforschung von Lupinenkrankheiten, die Verwertung von Lupinenextrakten oder die Förderung der Internationalen Lupinenkonferenzen. Der deutsche Beitrag betrug mehr als 10 Mio DM. Wesentliche Ergebnisse sind die genetische Verbesserung von *L. albus* (Steigerung des Ölgehalts) und von *L. mutabilis* (Eliminierung des Alkaloidgehalts), die Entwicklung von Nahrungs- und Futtermitteln auf Lupinenbasis, die Förderung des Anbaus und der Verwertung der Lupine in einigen Andenländern und die Weitergabe von Ergebnissen und Erfahrungen.

Abstract

During the time span from 1972 to 1993 GTZ, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, executed about 15 different projects aimed at supporting cultivation and use of lupins as food and feedstuff in certain developing countries. There were projects in Peru, Bolivia and Brazil but also more general programs dealing with lupin diseases, lupin extracts and the International Lupin Conferences. Main results were genetic improvements of *L. albus* (increased fat content) and *L. mutabilis* (elimination of alkaloids), the development of lupin based food and feedstuff, promotion and use of lupins in some Andean countries, and the dissemination of results and experiences.

Key words: lupins, genetic improvement, lupin diseases, alkaloids, production techniques, nutritive value

Einleitung

Zu Beginn der siebziger Jahre glaubte man allgemein, es gebe gewaltige Möglichkeiten zur Steigerung der Agrarproduktion in der Welt. Internationale Forschungszentren wurden gegründet und Sorten entwickelt, die hohe Aufwendungen für Wasser, Nährstoffe

und Pflanzenschutz in hohe Erträge verwandelten. Das Zauberwort hieß "Grüne Revolution", als Beispiel sei der vom CIMMYT in Mexiko entwickelte "Wunderweizen" genannt. Die drastische Erhöhung der Erdölpreise im Jahre 1974 und die daraus folgende Verteuerung landwirtschaftlicher Produktionsmittel zwang jedoch zu einem Umdenken. Bald wurden solche Pflanzenarten, Sorten und Anbauverfahren gesucht, die auch bei einem geringen Aufwand ("low input") und selbst auf marginalen Standorten eine landwirtschaftliche Produktion erlaubten. Die Erzeugung von Eiweiß, das auch für arme Leute erschwinglich ist, galt dabei als besonders wichtig. Im BMZ wurde daher ein Arbeitskreis "Eiweißreiche Körnerleguminosen" eingerichtet und die Entwicklung einer Mikroalgen-Technologie gefördert. Im folgenden werden die Arbeiten im Bereich der Lupine vorgestellt.

Die Ziele der Arbeiten mit Lupinen

Die verschiedenen Maßnahmen waren auf die folgenden Ziele ausgerichtet:

- Verfahren für den Anbau von Lupinen auf marginalen Standorten entwickeln
- den Anbau von Lupinen in Ländern wie Peru und Bolivien fördern
- die genetischen Anlagen von *L. albus* und *L. mutabilis* verbessern
- Verfahren zur Extraktion der Alkaloide entwickeln und testen
- die Wirkung von Alkaloid-Lösungen auf Acker- und Gartenkulturen prüfen
- Nahrungs- und Futtermittel auf Lupinenbasis entwickeln, den Verbrauch fördern
- Fachleute ausbilden, die Ergebnisse und Erfahrungen verbreiten

Die Maßnahmen dienen dem Oberziel, die wirtschaftliche Lage von Kleinbauern auf weniger günstigen Standorten zu verbessern und auch die ärmeren Schichten der Bevölkerung mit hochwertigen, eiweißreichen Nahrungsmitteln zu versorgen.

Die Methoden der Arbeiten mit Lupinen

Die verschiedenen Projekte lassen sich in zwei Gruppen unterteilen, die jedoch miteinander verzahnt waren, nämlich in länderspezifische und in überregionale Projekte. Zur ersten Gruppe gehören die Projekte "Anbau und Verwertung von Lupinen" in Peru und in Bolivien sowie ein Pflanzenbau-Projekt in Brasilien; zur zweiten Gruppe gehören die Vorhaben "Förderung eiweißreicher Körnerleguminosen", "Entwicklung von Methoden zur Alkaloid-Extraktion", "Untersuchung der Wirkung von Lupinenextrakten als Düngemittel" und "Erforschung von Lupinenkrankheiten". Alle diese Maßnahmen wurden aus Mitteln des BMZ, also aus dem Bundeshaushalt, finanziert. Hinzu kamen fünf sog. Eigenmaßnahmen der GTZ, d. h. Zuschüsse aus GTZ-eigenen Mitteln zu den Internationalen Lupinenkonferenzen in Peru, Spanien, Frankreich, Chile und Portugal. - Der gesamte, von deutscher Seite geleistete Beitrag hatte einen finanziellen Wert von mehr als 10 Millionen

DM.

Die wesentlichen Ergebnisse der Arbeiten mit Lupinen

Die wichtigsten Ergebnisse lassen sich in sieben Bereiche gliedern und in Kurzform wie folgt darstellen:

1. Entwicklung bzw. Verbesserung von Anbauverfahren

- Lupinen wachsen nicht in tropischen Regionen, in subtropischen nur im Winter.
- In den Anden gedeiht *L. albus* in Höhen bis ca. 2.800 m; normale Erträge liegen bei 1.000 bis 1.200 kg/ha. *L. mutabilis* wächst in Höhen bis ca. 4.000 m; in Versuchen wurden Erträge bis 5.000 kg/ha erzielt.
- In Feldversuchen in Bolivien gaben frühreife Sorten einen Ertrag von 2.850 kg/ha; eine Herkunft reifte in drei Monaten aus.
- Lupinen sind eine gute Vorfrucht, besonders zu Kartoffeln (evt. aufgrund einer nematiziden Wirkung). In Brasilien konnte die Bodenerosion durch die Fruchtfolge Lupinen - Sojabohnen - Weizen - Mais verringert werden.
- Anthracnose verursacht unterhalb von ca. 3.300 m erhebliche Mindererträge; sie kann durch Beizen des Saatguts verringert, aber nicht beseitigt werden.

2. Förderung des Anbaus von Lupinen

- Eine erhebliche Ausweitung des Anbaus konnte durch die Kombination mehrerer Maßnahmen erreicht werden. Dazu gehören die Vermehrung, Beizung und Verteilung von Saatgut, die Weitergabe von Anbau-Empfehlungen, der Aufbau einer Infrastruktur für die Vermarktung und die Zahlung eines gerechten Preises in bar beim Ankauf der Lupinen.
- In Peru bewirkten diese Maßnahmen eine Zunahme der Anbaufläche von 1.300 auf 5.500 ha innerhalb von zwei Jahren. Der Anbau ging jedoch wieder zurück, als Probleme beim Absatz auftauchten.

3. Genetische Verbesserungen

- Von *L. mutabilis* wurden ertragreiche, frühreife Sorten entwickelt, die eine gewisse Resistenz gegen Anthracnose besitzen und praktisch keine Bitterstoffe enthalten.
- Bei *L. albus* konnte der Fettgehalt auf etwa 12 % gesteigert werden.
- In Peru wurden zwei Genbanken eingerichtet, und zwar in Cusco und in Huanacayo. Sie enthalten ungefähr 2.000 Lupinen-Herkünfte; 650 davon wurden auch

in der FAL in Braunschweig eingelagert.

4. Extraktion der Alkaloide

- Das in Deutschland entwickelte Verfahren, nämlich die Extraktion des Lupinenöls durch Hexan und der Lupinenalkaloide durch ein Äthanol/Methanol-Gemisch funktionierte im Labor, versagte aber in einer halbindustriellen Pilot-Anlage in Peru.
- Die traditionelle Entbitterungsmethode wurde verbessert durch: Einweichen der Lupinen, eine Stunde Kochen, Wässern bei pH 4,5, Trocknen. Sie kann im Haushalt angewendet werden, aber auch in dörflichen und in halbindustriellen Anlagen. Die Leistung beträgt dann etwa 100 bzw. 1.000 kg pro Tag.
- In Bolivien bildeten sich verschiedene Klein-Industrien heraus, die heute noch existieren.
- Das von der Fa. MITTEX entwickelte Verfahren einer Alkaloid-Extraktion mit Wasser funktioniert im Pilotmaßstab. Produkte sind LUPINPUR und LUPINEX.
- Die Zusammensetzung der Alkaloid-Extrakte konnte weitgehend geklärt werden.

5. Nutzung der Alkaloide

- In Italien und in Deutschland wurde untersucht, ob Alkaloid-Extrakte eine wachstumsfördernde Wirkung haben. Die Arbeiten hatten kein eindeutiges Ergebnis.
- Untersuchungen über eine insektizide oder fungizide Wirkung der Alkaloide waren geplant, wurden aber wegen Geldmangel nur im Universitätsmaßstab durchgeführt.

6. Verwendung von Lupinen als Nahrungs- und Futtermittel

- Viele ernährungsphysiologische Untersuchungen wurden im Labor durchgeführt, die Ergebnisse im Tierversuch überprüft.
- Das Lupinenprotein ist sehr hochwertig, besser als das Eiweiß der Sojabohne. Nach FAO-Standard hat es einen gewissen Mangel an Methionin und Cystin und einen Überschuss an Lysin; die Mischung mit Getreide bietet sich an.
- Das Lupinenöl hat eine sehr gute Fettsäurezusammensetzung, besser als die von Erdnussöl. Der Anteil an essentiellen Fettsäuren ist hoch.
- Lupinen enthalten sehr wenig antinutritive Faktoren (z. B. nur 0,5 - 3 mg HCN in 100 g Trockenmasse; der Grenzwert liegt bei 20 mg)

- Es wurde ein Lupinenkonzentrat hergestellt, das 56 % Eiweiß, 27 % Fett und 6 % Wasser enthält.
- Der Ernährungszustand der Bevölkerung in drei Regionen Perus wurde untersucht. Zur Milderung der Unterernährung von Kindern wurde ein Schulspeisungsprogramm mit 100.000 Rationen pro Monat eingeführt.
- Auf der Grundlage von Lupinen wurden verschiedene Brotarten und Gerichte entwickelt sowie Futtermittel für Schweine, Kälber, Hähnchen und Schafe.

7. Verbreitung der Ergebnisse und Erfahrungen

- Die verschiedenen Aktivitäten wurden zu einer intensiven Aus- und Fortbildung von Fachleuten in allen Aspekten des Anbaus, der Verarbeitung und der Verwertung von Lupinen genutzt.
- Die wesentlichen Ergebnisse wurden in Form von wissenschaftlichen Publikationen, Handbüchern, Schriften und Konferenzberichten veröffentlicht.
- Zudem wurden zwei Filme über die Arbeiten des Lupinenprojekts in Peru gedreht.
- Die Internationalen Lupinenkonferenzen dienen dem Austausch von Arbeitsergebnissen und praktischen Erfahrungen zwischen Fachleuten aus einer Vielzahl von Industrie- und Entwicklungsländern.

Phosphat- und Eisenmobilisierung durch Wurzelexsudate bei *Lupinus albus* L.

Wilhelm Römer und Jörg Gerke

Institut für Agrikulturchemie

Von Siebold-Str. 6

D-37075 Göttingen

Zusammenfassung

Der Anbau von Weißlupine und Mais auf einer phosphatfixierenden Roterde (Oxisol, Ox) bei zwei Phosphatstufen (Gefäßversuch) ergab, daß die Weißlupine keine Ertragsreaktion auf eine P-Zufuhr zeigte, während der Mais seine Sproßtrockenmasse um 136% erhöhte. Bei hohem P-Angebot steigerte er seine P-Aufnahme um 266%, die Weißlupine nur um 30%. Somit ist die Weißlupine viel P-effizienter als Mais. Die Hypothese, daß Weißlupine durch Ausscheidung von organischen Säuren Phosphat mobilisiert, wurde weiter untersucht.

In der Proteoidwurzel-Rhizosphäre von Weißlupine auf einem kalkhaltigen Lößunterboden (L_c) lagen $55 \mu\text{M}$ Citrat und $8 \mu\text{M}$ Malat pro g Boden in wasserextrahierbarer Form als Ca-Salz vor. In dem Ox (pH 5,5) waren organische Säuren dagegen nicht in wasserlöslicher Form nachweisbar. DRIFT-Spektroskopie, durch die organische Säuren ohne vorherige Abtrennung von der mineralischen Phase erfaßbar sind, zeigte in dem Ox-Proteoidboden Citratgehalte von $88 \mu\text{M/g}$ Boden. Die Bodenlösungen der Proteoidrhizosphäre enthielten in dem Ox und einem Lößboden Ap jeweils mehr als $300 \mu\text{M Fe/L}$ im Gegensatz zu weniger als $5 \mu\text{M/L}$ im unbepflanzten Boden. Die P-Konzentration der Bodenlösung war in der Proteoidrhizosphäre um den Faktor 2 höher als im unbepflanzten Boden, obwohl die Pflanzen P entzogen hatten. Es wird angenommen, daß die Erhöhung der Löslichkeit auf dem Ligandenaustausch von Phosphat gegen Citrat und der Bildung von Fe-Carboxylatkomplexen beruht.

Modelluntersuchungen, bei denen den Böden Citrat zugesetzt wurde, zeigten, daß dieses sehr effizient P und Fe mobilisieren kann, so daß das hohe P-Aneignungsvermögen von Weißlupine im Vergleich zu Mais offenbar auf chemische P-Mobilisierung zurückzuführen ist. Die durch P-Mangel induzierte Ausbildung von Proteoidwurzeln bei Weißlupine fördert darüber hinaus auch das Fe-Aneignungsvermögen dieser Pflanzenart.

Abstract

In pot experiments with a P fixing Oxisol (Ox), white lupin showed no effect of P fertilization on shoot dry matter yield. In contrast after P application maize increased shoot dry matter by about 136% compared to the control. Phosphate uptake was increased by P application by 30% and 266% by white lupin and maize, respectively. The hypotheses that white lupin mobilized soil phosphate by the excretion of organic acid anions was further investigated.

Organic acid concentration was determined in the proteoid rhizosphere of white lupin in different soil samples (Oxisol- A_p = Ox, Luvisol- A_p and Luvisol-C = L_A and L_C) in order to study the influence of root-released carboxylates on the mobilization of phosphate and iron in the rhizosphere. In the L_C , organic acids were accumulated as Ca-salts extractable with water. In the proteoid rhizosphere of this soil sample 55 μM citrate and 8 μM malate per g soil were found. In the Ox, no water extractable organic acids were present. However, determination of citrate in the solid phase of this soil by Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform Spectroscopy gave concentrations of 88 μM citrate per g soil. Displaced soil solution was recovered from the Ox and the L_A . The total Fe concentrations increased from <5 $\mu\text{M/L}$ (soil from reference pots without plants) to more than 300 $\mu\text{M Fe/L}$ in the proteoidroot rhizosphere. The concentration of P was increased by factor of 2 despite of P uptake by the proteoid roots. The mobilization of Fe, and P is attributed to ligand exchange of phosphate against citrate and to the solubilization of Fe as carboxylate complexes.

In model experiments, citrate was added to the soil in concentrations which were found in the rhizosphere. Citrate can effectively mobilize P and Fe. Thus, the high P efficiency of white lupin compared to maize is attributed to the excretion of citrate in the root clusters. The P deficiency induced formation of the proteoid root clusters may also enhance the iron acquisition by white lupin especially on calcareous soils.

Key Words: *Lupinus albus*, root exudation, phosphorus solubility, iron solubility, nutrient mobilization

Einleitung

Es gibt im wesentlichen drei Gründe, sich mit dem Phosphataneignungsvermögen von Kulturpflanzen zu beschäftigen. Erstens gibt es weltweit riesige landwirtschaftliche Areale, vorzugsweise in den Tropen, an P-verarmten Böden und/oder geringer P-

Verfügbarkeit (Vlek und Koch, 1992; Soltan et al., 1993). Zweitens muß auf hoch mit P versorgten Standorten in einer ganzen Reihe von EU-Staaten die P-Düngung aus ökologischen Gründen reduziert werden (Barberis et al., 1996; Tunney and Carton, 1997), so daß die Boden-P-Gehalte zukünftig sinken werden. Drittens ist das Niveau der Boden-P-Gehalte in ökologisch wirtschaftenden Betrieben häufig niedriger als im konventionellen Landbau (Dietz et al., 1991).

In diesem Zusammenhang gewinnen Kulturpflanzen an Bedeutung, die die Fähigkeit haben, insbesondere das im Boden akkumulierte, häufig wenig lösliche Phosphat gut zu nutzen und weniger auf frisch zugeführtes Phosphat angewiesen sind. Hierzu zählen die Leguminosen, wobei die Weißlupine in den letzten Jahren besondere Aufmerksamkeit erfuhr. In diesem Zusammenhang soll gezeigt werden, welches die Ursachen für die Fähigkeit der Weißlupine sind, Bodenphosphate besser zu nutzen als andere Kulturpflanzen und welche Wechselbeziehungen zwischen P-Ernährung und Eisenversorgung der Pflanzen besteht.

Material und Methoden**Experiment zum Vergleich von Wachstum und Phosphataufnahme von Weißlupine und Mais**

Jeweils 6 Maispflanzen (cv. Konsul) bzw. 6 Lupinenpflanzen (cv. Amiga) wurden in Plastikgefäßen (Inhalt 3,5 L) in der Klimakammer für 30 Tage angezogen (Tag/Nacht-Rhythmus: 16/8 h, 320 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (PAR); 60/80% relative Luftfeuchtigkeit, 20°C/15°C). Das Substrat bestand aus einem Gemisch von 1 kg Quarzsand und 2 kg Oxisol (Lich, Nähe Vogelsberg) mit folgenden Eigenschaften: 50% Ton, 32% Schluff, 18% Sand, pH (CaCl_2): 5,6; 0,6 mg P_2O_5 je 100 g Boden (CAL-Methode). Alle Gefäße erhielten 130 mg K als K_2SO_4 und der Mais 200 mg N als $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ je kg Substrat. Die Lupinen wurden in vorgekeimtem Zustand mit Rhizobien geimpft. Es gab 2 Phosphatstufen:

1. Gefäße ohne zusätzlichen Phosphor,
2. Gefäße mit 160 mg P als Superphosphat.

Die Pflanzen wurden auf 70% der maximalen Wasserkapazität gegossen. Zu Versuchsende wurden die Sprosse geerntet, bei 105°C getrocknet, gemahlen und P in der Trockenmasse nach Veraschung mit einem Gemisch aus $\text{HNO}_3/\text{HClO}_4/\text{H}_2\text{SO}_4$ bestimmt (Kitson and Mellon, 1944). Die Wurzeln wurden ausgewaschen und ihre Länge aus der gesamten Frischmasse und den in aliquoten Anteilen der Frischmasse nach den Schnittpunktmethode nach Newman (1966) ermittelten Wurzellänge ermittelt.

Experiment zur Prüfung der Proteoidwurzelbildung, Citratexsudation und Phosphat- sowie Eisenmobilisierung bei Weißlupine

Die methodischen Einzelheiten sind bei Gerke et al. (1994) zu finden. Einige Eigenschaften der verwendeten Böden zeigt Tabelle 1.

Tab. 1: Einige Eigenschaften der verwendeten Bodenproben

	pH (CaCl ₂)	C _{org} (%)	Al ₀ ^x mg/kg Boden	Fe ₀ ^x	CaCO ₃ (%)
Oxisol	5,5	0,3	3 544	2 925	
Lößboden-Ap	7,3	1,1	672	1 955	0,2
Lößboden-C	7,7	0,3	185	75	8,5

^x) oxalatrextrahierbares Fe und Al

Die Pflanzen wurden, wie oben beschrieben, in der Klimakammer angezogen und nach der Ernte aufbereitet. Die Gewinnung der Bodenlösung erfolgte nach der „Verdrängungsmethode“ von Adams (1974). Dabei wird der feuchte Boden bzw. werden die Proteoidwurzeln mit ihrem Rhizosphärenboden in 250 bzw. 100 ml Meßzylinder eingefüllt, so daß eine weitgehend natürliche Lagerung erfolgt. Danach wird von oben demineralisiertes Wasser aufgetropft. Das in den Bodenporen befindliche Wasser wird nach unten verdrängt und tropft unten aus dem Meßzylinder heraus, der am Boden ein Loch besitzt. In dieser Bodenlösung kann der pH-Wert sowie die P- und Fe-Konzentration bestimmt werden. P wurde nach Murphy und Riley (1962) bestimmt, Fe mittels AAS. Zur Citrat- und Malat-Analytik vgl. Gerke et al. (1994).

Experiment zur Prüfung der Abhängigkeit der Phosphatfreisetzung von der Citratadsorption bei einer Löß-Parabraunerde

Die Citratadsorptionsuntersuchungen erfolgten bei 16 h Äquilibrierungszeit. Zwanzig g der getrockneten und auf 5 mm gesiebten Bodenproben wurden mit je 50 ml einer Citratlösung mit Konzentrationen von 0 bis 80 mM/L versetzt. Diese beinhalteten eine Matrixkonzentration von 0,1 M NaCl. Der pH-Wert in den Citratlösungen wurde mit HCl oder NaOH so eingestellt, daß die gewünschten pH-Werte nach Äquilibrierung erreicht wurden. Die Suspensionen wurden bei der 16 h-Äquilibrierung auf dem Überkopfschüttler geschüttelt. Ein Aliquot der Suspension wurde anschließend durch eine 0,45 µm Membran filtriert. Im Filtrat wurden der pH-Wert potentiometrisch, die Konzentrationen an Fe,

Al und P mittels ICP-OES und die Citratkonzentrationen mittels HPLC bestimmt. In Proben, in denen eine Aufkonzentrierung des Citrates nötig war (< 0,2 mM/L), erfolgte diese mittels Festphasenextraktion an Anionenaustauschern (Gerke et al., 1994).

Ergebnisse und Diskussion

Um zunächst das abweichende Verhalten von Weißlupine bezüglich der Nutzbarkeit von Bodenphosphat gegenüber anderen Kulturpflanzen zu demonstrieren, sollen Wachstum und P-Aufnahme von Weißlupine und Mais auf einem P-fixierenden Oxisol verglichen werden. Tabelle 2 gibt Resultate wieder. Während der Mais auf die P-Düngung mit einem Trockenmassezuwachs von 136% reagierte, zeigte die Weißlupine keine Reaktion. Bemerkenswert ist, daß die Lupinen schon in der Variante ohne P-Düngung so viel P aufgenommen hatten wie der Mais mit P-Düngung. Außerdem erreichten die Lupinen diese hohe P-Aufnahme bereits mit nur einem Drittel der Wurzellänge der Maispflanzen. Hier stellt sich die Frage nach dem Mechanismus der Phosphataneignung durch die Lupinen, insbesondere bei niedrigem Niveau an pflanzenverfügbarem Phosphat. Dafür gibt es offensichtlich zwei Ursachen: erstens die Wurzelmorphologie und zweitens die Fähigkeit der Wurzeln zur chemischen Mobilisierung von Phosphat in der Rhizosphäre. Aus den Angaben von Dinkelaker et al. (1989) wissen wir, daß die Weißlupine bei geringem P-Angebot Wurzelsegmente mit intensiver Verzweigung ausbildet, die flaschenbürstenartig aussehen, viele Wurzelhaare tragen und als Proteoid-Wurzelcluster bezeichnet werden. Diese morphologische Besonderheit muß Konsequenzen für die Stoffaufnahme haben.

Tab. 2: Einfluß der P-Düngung auf TM-Ertrag, Wurzellänge und P-Entzug von Mais und Weißlupine auf einer P-fixierenden Roterde (Oxisol)

	M a i s					
	Sproß-TM		P-Entzug		Wurzellänge	
	g	rel	mg	rel.	m	rel.
ohne P	5	100a	6	100a	1036	100a
mit P	13	236b	22	366b	1653	160b
	W e i ß l u p i n e					
	g	rel	mg	rel.	m	rel.
ohne P	7,4	100a	20	100a	315	100a
mit P	7,6	103a	26	130b	316	100a

ungleiche Buchstaben (a bzw. b) bedeuten signifikante Differenzen bei $\alpha = 0,05$

Tab. 3 gibt Resultate von Wurzelmessungen an Lupinenpflanzen, die auf zwei Böden mit variierten P-Gehalten gewachsen sind, wieder. Man erkennt, daß sich die Gesamtwurzellänge je Gefäß bzw. je Pflanze durch das P-Angebot wenig ändert, aber bei

geringem P-Angebot steigt die Menge an Proteoidwurzeln auf beiden Böden deutlich an, im Oxisol auf 150%, im Luvisol auf 390%. Damit entsteht die Frage, was nützt der Pflanze die Erhöhung der Wurzellängendichte, denn diese wird nur dort erhöht, wo die Wurzelcluster wachsen, wenn im Boden wenig lösliches, also aufnehmbares Phosphat vorhanden ist. Aus den Untersuchungen von Gardener et al. (1983) sowie Dinkelaker et al. (1989) wissen wir, daß Weißlupine beträchtliche Mengen an Citronensäure aus diesen Proteoidwurzeln ausscheidet, und das hat Konsequenzen für die Phosphatlöslichkeit.

Tab. 3: Einfluß des P-Angebotes in zwei Böden auf die Ausbildung der Gesamtwurzellänge sowie die Länge von Proteoidwurzeln bei Weißlupine (nach Gerke et al., 1994)

Boden	P-Angebot	Gesamt- Wurzellänge je Gefäß		Länge der Proteoidwurzeln je Gefäß	
		cm	cm	cm	rel.
Oxisol	hoch	39 455	7 299	100	
	niedrig	34 310	11 116	152	
Lößboden	hoch	38 257	2 831	100	
	niedrig	44 244	11 061	390	

Es wurde zunächst in Versuchen sowohl in leicht basischen als auch sauren Böden mit Weißlupinen geprüft, ob im Rhizosphärenboden Citrat zu finden ist und in welchen Konzentrationen. Dieses Citrat kann möglicherweise Phosphat im Boden chemisch mobilisieren. Tabelle 4 zeigt das Ergebnis der Untersuchung von Rhizosphärenböden solcher Proteoidwurzelbereiche. In den beiden ersten Böden mit pH-Werten größer 7 konnten bereits mittels Wasserextraktion beträchtliche Citrat- aber auch Malatmengen im Proteoidwurzelboden gefunden werden. Bei dem sauren Oxisol war dazu die direkte Bodenanalyse mit DRIFT-Spektroskopie nötig. Dieses Resultat liefert bereits den Hinweis, daß in dem sauren Boden Citrat offenbar fest an die Bodenmatrix (Fe/Al-Oxidhydrate) gebunden wird. Weiter zeigt Tab. 4, daß in zwei der drei Böden der pH-Wert im Boden offenbar infolge der Säureexsudation der Proteoidwurzeln abgesenkt wurde. Entweder war die Parabraunerde gut gepuffert bzw. die Citratadsorption setzte OH⁻ der Oxidhydrate frei, so daß der pH nicht sank, oder von der Pflanzenwurzel wurde Citrat und nicht Citronensäure als Reaktion auf P-Mangel ausgeschieden. Die Ausscheidung organischer Säuren hat also das „chemische“ Milieu in der Rhizosphäre stark verändert.

Tab. 4: Citrat- und Malatkonzentration sowie pH-Werte im Rhizosphärenboden von Proteoidwurzeln der Weißlupine (72 Tage alt) im Vergleich zum Boden ohne Wurzeln (nach Gerke et al., 1994)

P-arme Böden	Citronensäure µM/g Boden		pH (CaCl ₂) im Boden	
	Äpfelsäure µM/g Boden		ohne Wurzeln	mit Proteoidw.
Lößunterbd. (Lc)	55	8	7,7	5,5
Lößboden Ap	12,5	2,4	7,3	7,5
Oxisol	88	0	5,5	4,3

* ermittelt nach Wasserextraktion

** ermittelt mittels DRIFT-Spektroskopie

Tab. 5: Änderung der P- und Fe-Konzentration in der Bodenlösung unter dem Einfluß von Proteoidwurzeln der Weißlupine auf zwei Böden nach 72 Tagen Pflanzkultivierung im Vergleich zum Boden ohne Pflanzen (nach Gerke et al., 1994)

Boden	pH	P-Konz. µM P/L	Fe-Konz. µM/L
Oxisol ohne Wurzeln	5,5	2,0	4,5
mit Proteoidwurzeln	4,3	4,2	401
Lößboden Ap ohne Wurzeln	7,3	1,1	5,7
mit Proteoidwurzeln	7,5	2,7	346

Tab. 5 zeigt nun, wie sich dies auf die Löslichkeit von P im Boden auswirkte. Man erkennt, daß sich die P-Konzentration in der Bodenlösung in beiden Böden verdoppelt hat, obwohl die Pflanzen 72 Tage lang in den Böden gewachsen waren und P aufgenommen hatten. Außerdem erkennt man, daß die Konzentration von Fe in der Bodenlösung um fast zwei Zehnerpotenzen anstieg. Darauf wird später eingegangen. Zunächst gilt es festzuhalten, daß die P-Konzentration in der Bodenlösung der Rhizosphäre der Proteoidwurzeln deutlich erhöht wurde und dies offenbar als Folge der ausgeschiedenen Zitronen- bzw. Äpfelsäure. Um diesen Zusammenhang genauer zu prüfen, wurde im Modellversuch Citrat in steigenden Mengen zum Boden zugesetzt und das Inlösunggehen von Phosphat gemessen. Gleichzeitig wurde auch die Adsorption von Citrat an den Boden ermittelt. Damit kann der Zusammenhang zwischen Citratadsorption und Phosphatlöslichkeit direkt dargestellt werden (vgl. Abb. 1).

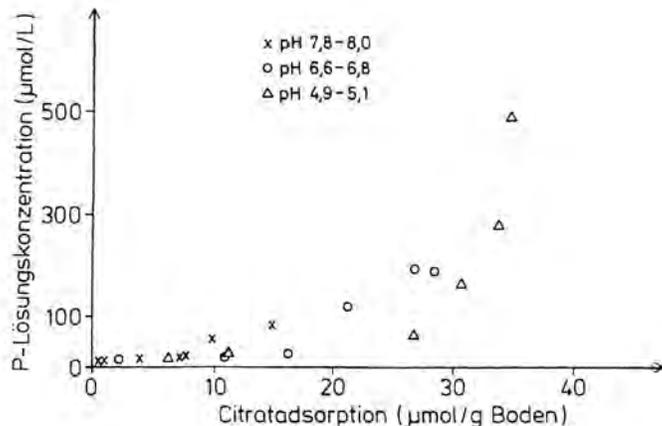


Abb. 1: Phosphatlöslichkeit in Abhängigkeit von der adsorbierten Citratmenge in der Löß-Parabraunerde (nach Gerke et al., 1994)

Hier war die Parabraunerde auf drei pH-Bereiche eingestellt, bevor das Citrat zugesetzt wurde. Man erkennt ganz klar, daß mit zunehmender Citratadsorption an den Boden die P-Freisetzung ansteigt, denn die P-Konzentration in der Bodenlösung erhöht sich. Der variierte pH-Wert hatte nur geringe Wirkung. Gleichzeitig wird deutlich, daß erst eine merkliche P-Freisetzung einsetzt, wenn eine Citratadsorption von mehr als 10 µM Citrat je g Boden erreicht wird. Die Exsudation an Citrat bzw. organischen Säuren muß also ein bestimmtes Ausmaß erreichen, wenn infolge von Citratadsorption eine für die Pflanzen nutzbare P-Mobilisierung u. a. durch Ligandenaustausch zustande kommen soll. Die flaschenbürstenartige Anordnung der Proteoidwurzeln ermöglicht damit die Säureexsudation auf engstem Raum. Die P-Mobilisierung wird damit besonders effektiv. Andererseits ist durch diese Wurzelanordnung die ionenaufnehmende Oberfläche an der gleichen Stelle,

wo die Mobilisierung geschieht, was die Diffusionswege verkürzt, was für das Phosphat besonders wichtig ist. Die Weißlupine zeigt uns damit, wie die Natur Wege gefunden hat, akutem Nährstoffmangel erfolgreich zu begegnen. Auf Steuerungsmechanismen zur Säurebildung bzw. -ausscheidung kann hier nicht weiter eingegangen werden. Hierzu vergleiche u. a. Neumann et al. (1998). Zu möglichen Mechanismen der chemischen Freisetzung des Phosphats vgl. Gerke (1992). Zur Einbeziehung von P-Mobilisierungsprozessen bzw. der Adsorption organischer Säuren in Nährstoffaufnahme Modelle vgl. Gerke (1995) und Beißner (1997). Dabei zeigt sich, daß die Effizienz der Citratausscheidung im Proteoidwurzelbereich, bezogen auf die Aufnahme von chemisch mobilisiertem Phosphat, um den Faktor 10 bis 1.000 größer ist, als bei Ausscheidung des Citrates über das gesamte Wurzelsystem.

Tab. 6: Abhängigkeit der Fe-Konzentration in der Sproßmasse und des Fe-Entzuges von Weißlupine von der P-Ernährung auf zwei Böden in der Klimakammer für 72 Tage (nach Gerke et al., 1994)

Böden	P-Versorgung	Sproß-TM g	Fe-Konz.		Fe-Entzug	
			µg/g	rel.	mg/Gefäß	rel.
Oxisol	P ₀ niedrig	16,5	1 010	165	16,7	116
	P ₂₀₀ hoch	24,4	610	100	14,3	100
Lößboden	P ₀ niedrig	25,4	220	138	5,6	155
	P ₂₀₀ hoch	22,8	160	100	3,6	100
	LSD _{5%}	5,1	80		n.b.	

Auch bei Gelblupine konnte die Ausbildung von Proteoidwurzelclustern bei P-Mangel beobachtet werden. In diesen Bereichen wird ebenfalls Citrat ausgeschieden (Marschner, 1994; persönliche Mitteilung).

Zum Schluß einige Beobachtungen zur Ernährung der Weißlupine mit Eisen, da diese offensichtlich mit der Phosphaternährung Berührungspunkte hat. Insbesondere bei Anzucht der Weißlupine in P-reichen Böden mit pH-Werten im Neutralbereich beobachteten wir Fe-Mangel (Chlorosen an den jüngsten Blättern). Aus Tab. 5 geht hervor, daß die Eisenlöslichkeit im Boden ohne Wurzeln sowohl im Oxisol als auch Luvisol mit ca. 5 µM sehr niedrig ist, d. h., der Fe-Antransport zur Wurzel ist erschwert. Aber in der Bodenlösung von Proteoidwurzeln stieg die Fe-Konzentration um fast zwei Zehnerpotenzen an. Damit ist zumindest der Fe-Antransport an die Wurzeln nicht mehr limitiert. Aus Tab. 6 geht sogar hervor, daß tatsächlich auch die Fe-Aufnahme (Fe-Entzug und Fe-Konzentration) der unter P-Mangel kultivierten Lupinen erhöht war. Damit scheint sich abzuzeichnen, daß die Fe-Versorgung der Pflanzen bei niedrigem P-Niveau infolge von

Proteoidwurzelbildung und Citratausscheidung wesentlich begünstigt wird, während dies bei hohem P-Angebot im Boden nicht der Fall ist und somit hohe Boden-P-Gehalte den Fe-Mangel der Weißen Lupine begünstigen.

Schlußfolgerungen:

Die Ausscheidung von organischen Säuren wie Citronen- und Äpfelsäure ist von grundlegender Bedeutung für die Mobilisierung von Phosphat aber auch Fe in der Rhizosphäre von Weißlupinen. Sie ist auch bei symbiontischer N-Ernährung im Feld zu erwarten, da die Protonenausscheidung zu einer verstärkten Citratbindung an die Festphase und damit zur P-Mobilisierung führt. In Gefäßversuchen gibt es bereits positive Beispiele für den Mischanbau von Weizen und Lupinen bzw. auch Nachfruchtwirkungen der Lupinen, die mit der P-Mobilisierung korrespondieren (Horst und Waschkie, 1986, 1987).

Literatur

- Barberis, E., Marsan, F.A., Scalenghe, R., Lammers, A., Schwertmann, U., Edwards, A.C., Maguire, R., Wilson, M.J., Delgado, A., Torrent, J. (1996): European soils overfertilized with phosphorus. Part 1. Basic properties. *Fertilizer Research* 45, 199-207.
- Beißner, L. (1997): Mobilisierung von Phosphor aus organischen und anorganischen P-Verbindungen durch Zuckerrübenwurzeln. Cuvillier Verlag Göttingen.
- Diez, Th., Borchert, H., Capriel, P., Krauss, M., Bauchhenß, J. (1991): Vergleichende Bodenuntersuchungen von konventionell und alternativ bewirtschafteten Betriebschlägen. - 2. Mitteilung. *Bayer. Landw. Jahrbuch* 68, 409-443.
- Dinkelaker, B., Römheld, V., Marschner, H. (1998): Citric acid excretion and precipitation of calcium citrate in the rhizosphere of white lupin (*Lupinus albus* L.). *Plant Cell Environment* 12, 285-292.
- Gardner, W.K., Barber, D.A., Parbery, D.G. (1983): The acquisition of phosphorus by *Lupinus albus* L. - III. The probable mechanism by which phosphorus movement in the soil/root interface is enhanced. *Plant and Soil* 70, 107-124.
- Gerke, J. (1992): Phosphate, aluminum and iron in the soil solution of three different soils in relation to varying concentrations of citric acid. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 155, 339-343.
- Gerke, J. (1995): Chemische Prozesse der Nährstoffmobilisierung in der Rhizosphäre und ihre Bedeutung für den Übergang vom Boden in die Pflanze. Cuvillier Verlag Göttingen.
- Gerke, J., Römer, W., Jungk, A. (1994): The excretion of citric and malic acid by proteoid roots of *Lupinus albus* L.; effects on soil solution concentrations of phosphate, iron, and aluminum in the proteoid rhizosphere in samples of an oxisol and a luvisol. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 157, 289-294.
- Horst, W.J., Waschkie, C. (1986): Verbesserung der Phosphatversorgung von Sommerweizen durch Anbau von Weißer Lupine auf einem Boden niedriger Phosphatverfügbarkeit. *VDLUFA-Schriftenreihe* 16, Kongreßband 1985, 179-183.
- Horst, W.J., Waschkie, C. (1987): Phosphatversorgung von Sommerweizen (*Triticum aestivum* L.) in Mischkultur mit Weißer Lupine (*Lupinus albus* L.). *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 150 1-8.

- Kitson, R.E., Mellon, M.G. (1944): Colorimetric determination of phosphorus as molybdovanado phosphoric acid. *Ind. Engineer. Chem. Analyt.* 16, 379-383.
- Murphy, J., Riley, J.P. (1962): A modified single solution method for the determination of phosphate in natural water. *Anal. Chim. Acta* 27, 31-36.
- Neumann, G., George, E., Römheld, V. (1998): Zur Regulation der P-Mangel induzierten Abgabe organischer Säuren aus Proteoidwurzeln der Weißlupine. 8. Borkheider Seminar zur Ökophysiologie des Wurzelraumes (im Druck).
- Newman, E.J. (1966): A method of estimating the total length of root in a sample. *J. Appl. Ecol.* 3, 139-145.
- Softan, S., Römer, W., Adgo, E., Gerke, J., Schilling, G. (1993): Phosphate sorption by Egyptian, Ethiopian and German soils and P uptake by rye (*Secale cereale* L.) seedlings. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 156, 501-506.
- Tunney, H., Carton, O.T. (Eds.) (1997): Phosphorus loss from soil to water. CAB INTERNATIONAL, ISBN 085 199 1564
- Vlek, P.L.G., Koch, H. (1992): The soil resource base and food production in the developing world: special focus on africa. *Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen* 71, 139-160

Vorkommen und Verbreitung der Lupinen in Mexiko

Kalina Bermúdez Torres

Centro de Desarrollo de Productos Bióticos

Instituto Politécnico Nacional

Apdo. Postal 24

62730 Yautepec, Morelos

Mexiko

Zusammenfassung

Die Diversität der Lupinen in Mexiko ist sehr hoch. Es sind über 100 Arten nachgewiesen worden. In Mexiko zeigen die Lupinen eine Verteilung lang der Bergketten, Sierra Madre Occidental und Sierra Madre Oriental. Beide Ketten vereinigen sich zu der neovulkanischen Achse in den Bundesstaaten Mexiko, Morelos, Tlaxcala, Puebla und D.F. Die verbreitetsten Arten sind: *L. campestris*, *L. elegans*, *L. mexicanus*, *L. montanus*, *L. hartwegii*, *L. splendens*, *L. stipulatus* und *L. leptophyllus*. Diese Arten kommen hauptsächlich auf der neovulkanischen Achse vor. Auf Grund der Schwierigkeiten bei der Identifizierung mittels morphologischer Merkmale der Lupinenarten besteht jedoch die Möglichkeit, daß viele von den beschriebenen Arten ein und derselben Art angehören (Synonyme). Die morphologischen Eigenschaften werden heutzutage mit anderen Daten komplementiert. So zum Beispiel können die Alkaloidprofile als taxonomische Marker in der Chemotaxonomie genutzt werden.

Abstract

The phanerogamic flora of Mexico is estimated to consist of approximately 220 families, 2410 genera, and 22 000 species. The most important families are *Compositae* (310 genera, 2400 species), *Leguminosae* (130 genera, 1800 species), *Gramineae* (170 genera, 950 species), *Orchidaceae* (140 genera, 920 species), *Cactaceae* (70 genera, 900 species), and *Rubiaceae* (80 genera, 510 species) (Rzedowski, 1996).

Lupinus, belonging to the family Leguminosae, is a large and diverse genus comprising about 500 annual, biannual and perennial herbaceous, prostrate and shrubby plants characterized by palmate-compound leaves, and regular "papilionaceous" flowers allocated in a terminal raceme. The geographical distribution of the genus extends in the New World through North, Central and South America, and in the Old World in the highlands of Africa and Mediterranean regions. It occurs in a wide range of ecogeographi-

cal conditions. Lupins are more diverse in the New World, mainly in the western areas, whereas only 12 annual species are native from the Old World (Ainouche, 1996; Käss & Wink, 1997). For Mexico we determined the existence of 111 species growing at altitudes extending from sea level to up to 4000 m above sea level in elevation (taxa reported in Herbario Nacional, revised by the author). The distribution of the most common taxa in Mexico is illustrated and a list of the species present is provided. For the common taxa we have described their distribution by state and altitudinal range.

Key words: *Leguminosae, Papilionoideae, Genisteae, Lupinus, Mexiko*

Resumen

La flora fanerogámica de México se estima en alrededor de 220 familias, 2410 géneros y 22000 especies. Las familias de mayor importancia en cuanto a su número son *Compositae* (310 géneros, 2400 especies), *Leguminosae* (130 géneros, 1800 especies), *Gramineae* (170 géneros, 950 especies), *Orchidaceae* (140 géneros, 920 especies), *Cactaceae* (70 géneros, 900 especies) and *Rubiaceae* (80 géneros, 510 especies) (J. Rzedowski, 1996).

Lupinus, perteneciente a la familia Leguminosae, es un género muy extenso y diverso, el cual comprende cerca de 500 especies anuales, bianuales y perenes, de hábito herbáceo, rastrero o arbustivo, las cuales son caracterizadas por sus hojas palmado-compuestas y sus flores "papilionáceas" localizadas en racimos terminales. La distribución geográfica del género se extiende en el Nuevo Mundo a través de Norte-, Central- y Sudamérica, y en el Viejo Mundo en las montañas de África y las regiones mediterráneas. Este género se presenta en una amplia gama de condiciones ecogeográficas. Los lupinos son más diversos en el Nuevo Mundo, principalmente en las zonas occidentales, mientras que en el Viejo Mundo solo se conocen 12 especies nativas (Ainouche, 1996). Para México se determinó la presencia de 111 especies creciendo a rangos de altitud que van desde el nivel del mar hasta los 4000 m de elevación (especies reportadas en el Herbario Nacional, revisado por la autora). Se presenta la distribución de las más representativas especies en México. Así mismo se presenta la lista de especies ordenadas alfabéticamente. Para cada especie se señala su distribución por estado y rango altitudinal.

Einleitung

Die Blütenpflanzen Mexikos umfassen etwa 220 Familien, 2410 Gattungen und 22000 Arten. Ungefähr 10% der Gattungen und 52% der Arten sind endemisch für Mexiko. Die am stärksten vertretenen Familien in Mexiko sind die *Compositae* mit 310 Gattungen und 2400 Arten, die *Leguminosae* mit 130 Gattungen und 1800 Arten, die *Gramineae* mit 170 Gattungen und 950 Arten, die *Orchidaceae* mit 140 Gattungen und 920 Arten, die

Cactaceae mit 70 Gattungen und 900 Arten und die *Rubiaceae* mit 80 Gattungen und 510 Arten (Rzedowski, 1996).

Die Familie *Leguminosae* (*Fabales*, Überordnung *Fabanae*) spielt durch ihre Fähigkeit, sich mit stickstofffixierenden Bakterien zu assoziieren, in verschiedenen Pflanzengesellschaften eine sehr wichtige Rolle. Die *Leguminosae* werden in drei Unterfamilien unterteilt: *Mimosoideae*, *Caesalpinioideae* und die *Papilionoideae*. Sehr groß ist die wirtschaftliche Bedeutung der Leguminosen. Einige sind wichtige Futterpflanzen, die auch auf stickstoffarmen Böden gut gedeihen und, untergepflügt, zur Gründüngung verwendet werden können. Andere stellen durch ihre eiweiß- und stärkereichen Samen wichtige Nahrungsmittel dar.

Die Gattung *Lupinus* gehört der Familie *Leguminosae*, der Unterfamilie *Papilionoideae* und dem Tribus *Genisteae*. Sie wird weltweit durch möglicherweise 500 Arten vertreten, von denen die meisten (etwa 500) in Nord- und Südamerika und nur 12 im Mittelmeerraum und Afrika vorkommen (Käss & Wink, 1997). In Mexiko ist die Gattung *Lupinus* sehr weit verbreitet. Nach einer umfassenden Durchsicht des Nationalherbariums MEXU-UNAM, durchgeführt von der Autorin, sind 111 Arten in Mexiko vertreten (Tabelle 1). Zu beachten ist jedoch, daß eine Reihe der in Tab. 1 aufgeführten Arten möglicherweise konspezifisch sind, d.h. keine „guten“ Arten darstellen. Lupinen kommen in Höhen von 5 m NN in Baja California (*Lupinus bicolor*) bis zu 4500 m NN in dem Bergzügen und Hochgebirgen Mexikos (*L. montanus*, *L. campestris*, *L. elegans*) vor.

Tabelle 1. Vorkommen der Lupinen in Mexiko

	ART	BUNDESSTAAT	Höhe m NN	Lokalname
1.	<i>L. affinis</i>	Baja California		
2.	<i>L. agardhianus</i>	Baja California		
3.	<i>L. andersonii</i>	Baja California	2800	
4.	<i>L. aralloius</i>	Michoacan	3700	
5.	<i>L. arbutosocius</i>	Sinaloa	5000-6500	Garbancillo
6.	<i>L. argenteus</i>	Jalisco	2050	
7.	<i>L. arizonicus</i>	Baja California, Sonora	10-720	
8.	<i>L. aschenbornii</i>	Estado de México, Tlaxcala, Michoacan, D.F.	1800-4300	Cantuez, frijolillo
9.	<i>L. barbatulus</i>	Baja California	870	
10.	<i>L. barberi</i>	Chihuahua, Durango	2195-2620	
11.	<i>L. barkeri</i>	Distrito Federal	2590	
12.	<i>L. bartlettianus</i>	Tamaulipas	90	
13.	<i>L. bicolor</i>	Baja California, Islas Guadalupe	5-1600	
14.	<i>L. bilineatus</i>	Chihuahua, Estado de México, Oaxaca, Sinaloa, Tlaxcala, Michoacan, Hidalgo, Durango	1500-3100	Cantues, borreguito
15.	<i>L. caballoanus</i>	Nuevo León	1200	
16.	<i>L. cacuminis</i>	Coahuila, Nuevo León	2850-3650	
17.	<i>L. campestris</i>	Tlaxcala, Morelos, Estado de México, Guanajuato, Oaxaca,	1200-3600	"Deunsha", garbancillo, galopino

		Veracruz, Puebla, Nayarit, Jalisco, Michoacan, Hidalgo, Durango, D.F., Queretaro, Tamaulipas		
18.	<i>L. concinnus</i>	Baja California	170-512	
19.	<i>L. confusus</i>	Jalisco, Durango, Guanajuato, Chihuahua	2133-2743	
20.	<i>L. chihuahuaensis</i>	Chihuahua	2896-2957	
21.	<i>L. decaschistus</i>	Guerrero (holotipo)	2900	
22.	<i>L. delicatulus</i>	Sinaloa	1800-1950	
23.	<i>L. dispar</i>	Michoacan	2300	
24.	<i>L. dissimulans</i>	Guerrero	1860	Moradilla
25.	<i>L. douglas</i>	Baja California		
26.	<i>L. ehrenbergii</i>	Hidalgo, Guanajuato, Chihuahua, Queretaro, San Luis Potosí, Durango, Estado de México, Michoacan,	1970-3000	Cantues
27.	<i>L. elegans</i>	Oaxaca, Nayarit, Morelos, Michoacan, Veracruz, Tamaulipas, Edo. Mex, Puebla, Jalisco, D.F., Guerrero, Hidalgo, Durango, Guanajuato, Colima, Chiapas, B.C.	1300-3700	
28.	<i>L. ermineus</i>	Zacatecas	2500-3000	
29.	<i>L. exaltatus</i>	Estado de México, Tlaxcala, Michoacan, D.F.	1200-2960	
30.	<i>L. excubitus</i>	Baja California Nort	549-1700	Garbancillo
31.	<i>L. ferax</i>	Michoacan	1500	
32.	<i>L. fictomagnus</i>	Michoacan	1200	
33.	<i>L. formosus</i>	Baja California	1500	
34.	<i>L. galbellus</i>	Colima	3960	
35.	<i>L. garcianus</i>	Durango	2515	
36.	<i>L. genistoides</i>			
37.	<i>L. gentryanus</i>	Sinaloa	1676-1981	Garbancillo
38.	<i>L. geophilus</i>	Estado de México, Morelos, D.F.	2600-2700	
39.	<i>L. giganteus</i>	Estado de México, D.F.	2438	
40.	<i>L. glabellus</i>	Oaxaca	3048	
41.	<i>L. glabrior</i>	Chihuahua	2957	
42.	<i>L. gracilis</i>	Baja California N		
43.	<i>L. harleyanus</i>	Tamaulipas		
44.	<i>L. hartmanii</i>	Chihuahua	2438	
45.	<i>L. hartwegii</i>	Michoacan, Estado de México, Guanajuato, Morelos	1524-4300	
46.	<i>L. hawardii</i>	Tamaulipas	560	
47.	<i>L. hintoni</i>	Estado de México, Michoacan	3250-3350	
48.	<i>L. huachacanus</i>	Chihuahua	2150	
49.	<i>L. huachacanus</i>	Chihuahua	1800-2800	
50.	<i>L. idoneus</i>	Michoacan	2800	
51.	<i>L. lagumensis</i>	Baja California Sur	840-1470	
52.	<i>L. latifolius</i>	Baja California	152-2469	
53.	<i>L. leonensis</i>	Nuevo León	610	
54.	<i>L. leptocarpus</i>	Nayarit	100-2290	
55.	<i>L. leptophyllus</i>	Puebla, Estado de México, Tlaxcala, Hidalgo, Veracruz	1400-2980	Garbancillo, Mazorquilla, Icoxochitl
56.	<i>L. lesueri</i>	Chihuahua	2000-2200	
57.	<i>L. longifolius</i>	Baja California N	130-900	
58.	<i>L. madrensis</i>	Jalisco, Chihuahua, Michoacan, Durango	1500-2500	
59.	<i>L. marshallianus</i>	México	2300	

60.	<i>L. metallactus</i>	Guerrero	3100	
61.	<i>L. mexicanus</i>	Guanajuato, San Luis Potosí, Estado de México, Morelos, Jalisco, Tlaxcala, Queretaro, Michoacan, Hidalgo, D.F.	1250-4250	Colita de zorra, Garbancillo,
62.	<i>L. montanus</i>	Estado de México, Chihuahua, Durango, Oaxaca, Hidalgo, Jalisco, Veracruz, Puebla, Guerrero, Michoacan	2300-4140	Garbancillo, Moco de guajolote, Cantues,
63.	<i>L. monteportae</i>	Michoacan	1700	
64.	<i>L. muelleri</i>	Nuevo León, Coahuila	2900-3600	
65.	<i>L. neglectus</i>	Zacatecas, San Luis Potosí, Estado de México	2347-2507	
66.	<i>L. neomexicanus</i>	Sonora	1676-2286	
67.	<i>L. niveus</i>	Baja California	65	
68.	<i>L. octablumus</i>	Guerrero	3200	
69.	<i>L. oligostolus</i>	Tamaulipas		
70.	<i>L. omalophyllus</i>	Tamaulipas	914	
71.	<i>L. orcurltii</i>	Baja California		
72.	<i>L. paraplestius</i>	Michoacan	2100	
73.	<i>L. perbonus</i>	Michoacan	2200	
74.	<i>L. persistens</i>	Estado de México, Morelos, D.F.	3414	Cantuez
75.	<i>L. pilosissimus</i>			
76.	<i>L. platamodes</i>	Tamaulipas	1820	
77.	<i>L. pondii</i>			
78.	<i>L. potosinus</i>	Tamaulipas, Nuevo León, Michoacan, San Luis Potosí, Coahuila	2500-3000	
79.	<i>L. pringlei</i>	Distrito Federal, Morelos, Estado de México	1840-2317	
80.	<i>L. pusillus</i>	Colorado		
81.	<i>L. quercuum</i>	Estado de México, Michoacan	1800	Cantuez
82.	<i>L. raber</i>	Baja California	1250	
83.	<i>L. reflexus</i>	Jalisco	2500-3330	Coruco, Uruca
84.	<i>L. rhodanthus</i>	Michoacan	1940	
85.	<i>L. rotundiflorus</i>	Jalisco, Nayarit	1500-2000	
86.	<i>L. saxosus</i>	Baja California	1524	
87.	<i>L. scculentus</i>	Baja California		
88.	<i>L. scuamecalitis</i>	Jalisco	2500	
89.	<i>L. schiedeanus</i>	Puebla, Estado de México, Tlaxcala	2590	
90.	<i>L. semiaequus</i>	Michoacan	3400	
91.	<i>L. shreveii</i>	Chihuahua, Jalisco	2067	
92.	<i>L. simulans</i>	Oaxaca, Estado de México, Hidalgo	823-2743	Cantuez
93.	<i>L. sitgreavensi</i>	Chihuahua, Sonora		Garbancillo
94.	<i>L. sparsiflorus</i>	Baja California, Tamaulipas, Sonora, Durango, Chihuahua	10-2445	
95.	<i>L. splendens</i>	Michoacan, Estado de México, Guanajuato, Morelos	1500-3800	
96.	<i>L. squamecalitis</i>	Michoacan, Guerrero	2260-2300	Flor Gilote
97.	<i>L. stipulatus</i>	Chihuahua, Puebla, Jalisco, Oaxaca, D.F.	1420-3050	Yerbaloca, Yeloxochitl,
98.	<i>L. stolicotus</i>	Tamaulipas		
99.	<i>L. subcarnosus</i>	Coahuila, Hidalgo, Puebla, Estado de México	213-2743	
100.	<i>L. subrexus</i>	Baja California		
101.	<i>L. succulentus</i>	Baja California Sur	10-366	
102.	<i>L. sylvaticus</i>	Estado de Mexico		

103.	<i>L. tamulipensis</i>	Tamaulipas		
104.	<i>L. tancitaricus</i>	Michoacan	1900	
105.	<i>L. tawimortuas</i>	Guerrero	2700	
106.	<i>L. texensis</i>	Coahuila, Nuevo León, Chihuahua	500-2150	
107.	<i>L. tolucaensis</i>	Estado de Mexico		
108.	<i>L. truncatus</i>	Baja California Sur	300-500	
109.	<i>L. uncinatus</i>	Morelos, Hidalgo, D.F., Estado de México, Michoacan, Oaxaca, Jalisco	2200-4000	Cantuec
110.	<i>L. vaginatus</i>	Veracruz		
111.	<i>L. versicolor</i>	Estado de Mexico, Tlaxcala, Veracruz, Hidalgo	2030-3100	

Trotz der weiten Verbreitung der Gattung *Lupinus* in Mexiko und ihrer ökologischen Bedeutung wurden bis heute nur sehr wenige Untersuchungen zur Taxonomie und Systematik durchgeführt. Die wichtigsten Sammlungen dieser Gattung wurden von E. Matuda sowie J. Rzedowski in den 60-70er Jahren zusammengeführt. Es gibt kein Bestimmungsschlüssel, der alle in ganz Mexiko vorkommenden Arten umfaßt. Für die Identifizierung der Arten verwendet man die jeweiligen Regionalschlüssel. Die Identifizierung beruht hauptsächlich auf die Morphologie der Blüten. Auf Grund insgesamt weniger, stellenweise fehlender oder widersprüchlicher Merkmale stellen die beschriebenen taxonomischen Gruppierungen unnatürliche Einheiten dar. Heutzutage werden andere Eigenschaften berücksichtigt; so z.B. die spezifischen Alkaloidmuster (insbesondere Chinolizidinalkaloide) oder die Untersuchung von DNA-Sequenzen (ITS 1 und ITS 2; rbcL; Käss & Wink, 1995, 1996, 1997a, b).

Die vorliegende Arbeit soll eine kurze Übersicht über die wichtigsten mexikanischen Lupinenarten, ihr Vorkommen und Verteilung auf dem Territorium Mexikos darstellen. *L. campestris*, *L. elegans*, *L. hartwegii*, *L. montanus*, *L. leptophyllus*, *L. mexicanus*, *L. splendens* und *L. stipulatus* sind die am weitesten verbreiteten Arten in Mexiko.

Lupinus campestris

L. campestris Cham. & Schl.: Einjährige, zweijährige oder perennierende Pflanze, Stengel verholzt, 15 bis 60 cm hoch; dicht und fein behaart, aufrecht, verzweigt erst im oberen Teil (strauchartig).

Blätter: Längste Blattstiele 4 bis 8 cm lang, vereinzelt behaart; Nebenblätter oder Stipeln meistens violett, 5 bis 12 mm lang; Anzahl der Blättchen der größten Blätter 6 bis 8, größte Blättchen 4,5-8 cm lang und 9 bis 15 mm breit, elliptisch bis elliptisch-ovovat, Blattspitze meist zugespitzt, manchmal stumpf, mit einer kleinen zugespitzten erweiterten Spitze, dunkelgrüne adaxiale Seite (Blattoberseite) mit vereinzelter harter Behaarung, auf der bleichen abaxialen Seite (Blattunterseite) feine und dichte Behaarung.

Blüte: Dichte Blütenstände, junge Knospen einen dichten Zapfen bildend; fadenförmige schwer zu sehende Hochblätter (Brakteen), 3 bis 5,4 mm lang, vergänglich; aussen fein

aber innen nur vereinzelt behaarter Kelch, oberes Kelchblatt 3,4 bis 4,8 mm lang, ganz oder mit einer Spalte 0,1 mm tief, breit und dreiwinkelig; kreisförmige Fahne 10,5 bis 12,5 mm lang und 9 bis 12,5 mm breit, Flügel 11,5 bis 14 mm lang, Schiffchen in einem Winkel von 80 bis 90°, scheinbar kahl, aber mit vereinzelt Haaren entlang der oberen Ränder unterhalb der Akumen.

Samen: Samen 7 bis 9; Hülse 4 bis 5 cm lang und 8 bis 9 mm breit, dicht behaart.

Verbreitung: Insbesondere Vulkangebiete und Korrdilliere zwischen 1200 und 3600 m NN (Abb. 1).

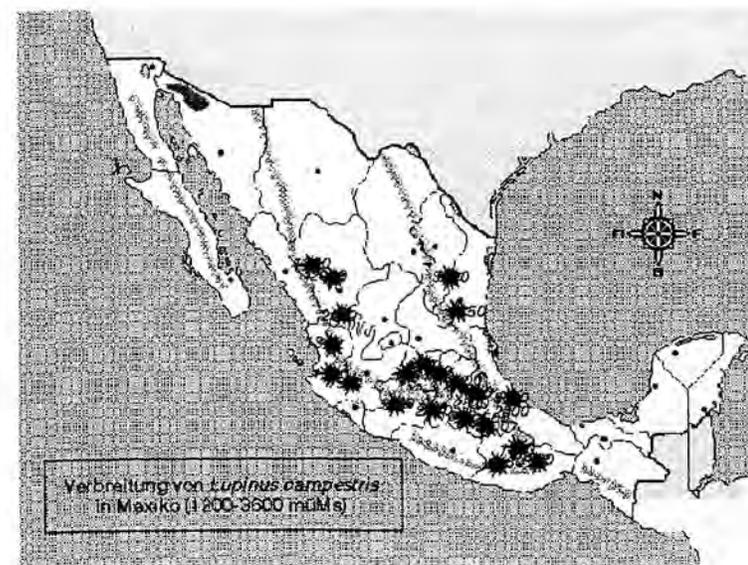


Abb. 1. Verbreitung von *Lupinus campestris* in Mexiko

Lupinus elegans

L. elegans HBK. Perennierende, nur an der Basis verholzte Pflanze; 1 bis 2 m hoch; Stengel sehr verzweigt; hohle Zweige, fein behaart.

Blätter: Dünne fadenförmige Blattstiele, die längsten 3 bis 7 cm lang, Nebenblätter oder Stipeln 10 bis 25 mm lang; Blättfiedern der größten Blätter 7 oder 8, obovat, Blattspitzen stumpf bis spitz, kahl bis vereinzelt behaart an der abaxialen Seite; harte Behaarung an der adaxialen Seite; die größten Blättfiedern 4 bis 6 cm lang und 8 bis 12 mm breit, dunkelgrüne adaxiale Seite (Blattoberseite), bleiche abaxiale Seite (Blattunterseite).

Blüten: Blütenstände 10 bis 25 cm lang, meist dichte Anordnung der Blütenstiele, manchmal Internodien 15 bis 30 mm lang oder die Blüten verstreut, Tendenz zur Verlängerung der Blütenstände vor der Blüte, alle Blüten öffnen sich gleichzeitig (mit Ausnahme des oberen Teiles); vergängliche Hochblätter, 5 bis 10 mm lang; Blütenstiele fein behaart, dünn, 4 bis 7 mm lang. Außen und innen seidiger Kelch; ovale Fahne, Fahnenspitze verspitzt, stumpf, 12,4 bis 15 mm lang und 10 bis 13,8 mm breit; Flügel 14 bis 17 mm lang und 6 bis 8,8 mm breit, kahles Schiffchen mit einer Winkel von 84 bis 94°;

Samen: Samen 6 bis 9; Hülse 4 bis 4,7 cm lang und 8 bis 9 mm breit, dicht behaart.

Verbreitung: Insbesondere Vulkangebiete und Kordilliere zwischen 1300 und 3700 m NN (Abb. 2)

L. hartwegii

L. hartwegii Lindl. Ein- oder zweijährige Pflanze, 40 bis 80 cm hoch, im oberen Teil verzweigt; Zweige 5 bis 10 mm (Querschnitt), hohl, Behaarung 3 bis 6 mm lang, flaumig.

Blätter: Nebenblätter (Stipeln) 25 bis 35 mm lang, freier Teil anfangs winkelig, dann fadenförmig; Fiederanzahl 6 bis 8, obovat, runde mit einem kleinen scharfen Zacken endende Spitzen, kahle adaxiale Seite (Blattoberseite) mit vereinzelt Haaren auf den Rändern; behaarte abaxiale Seite (Blattunterseite), zwei Haartypen: lange Haare 2 bis 4 mm lang und Flaum; größte Fieder 5 bis 6 cm lang und 8 bis 11 mm breit.

Blüte: Blütenstände 15 bis 40 cm lang, Hochblätter (Brakteen) fadenförmig, 2 cm oder mehr lang, vergänglich; unteres Kelchblatt 11 bis 12 mm lang, oberes Kelchblatt 8 bis 10 mm lang, zweizählige Spitze, kahle Blumenkrone; Fahne kreisförmig, 14 bis 20 mm lang und 15 bis 16 mm breit, Flügel 16,5 bis 18,6 mm lang und 8 bis 11 mm breit, Schiffchen mit einem Winkel von 93 bis 100°;

Samen: Samen 7 bis 10; Hülse 3 bis 4 cm lang und 6 bis 7 mm breit.

Verbreitung: Vulkangebiete zwischen 1600 und 4300 m NN (Abb. 3).



Abb. 2. Verbreitung von *Lupinus elegans* in Mexiko

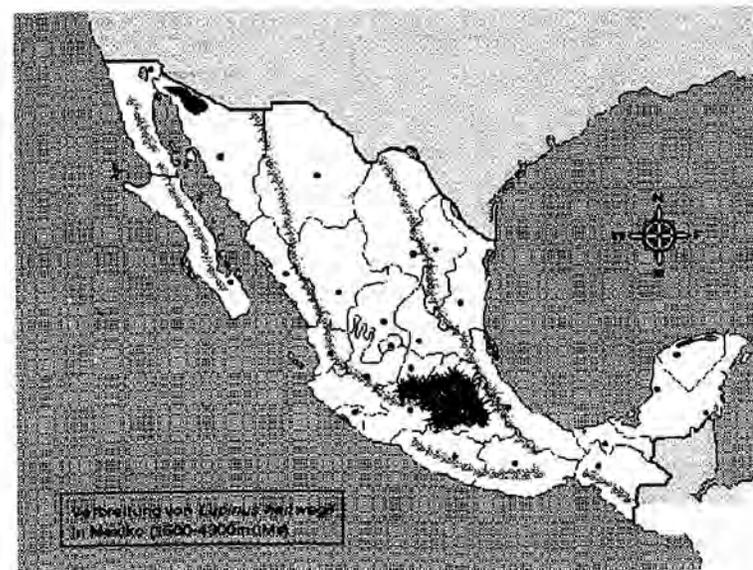


Abb. 3. Verbreitung von *Lupinus hartwegii* in Mexiko

Lupinus montanus

L. montanus. Perennierende Pflanze, 30 bis 100 cm hoch; Stengel hohl, Querschnitt 4 bis 15 mm, flaumig; Nebenblätter (Stipel) 3 bis 10 cm lang, breit membranös.

Blätter: Blattstiele 6 bis 20 cm lang; Fiederanzahl 10 bis 14, Fieder linear-elliptisch bis obovat, zugespitzt; mit einem kleinen Zacken endende Spitze, die größten Fieder 5,5 bis 14 cm lang und 6 bis 30 mm breit; mit vereinzelter harter Behaarung gekennzeichnete adaxiale Seite (Blattoberseite), verdickte bis feine Behaarung auf der abaxialen Seite (Blattunterseite).

Blüte: Blütenstände 8 bis 30 cm lang, gruppenbildend oder verteilt; Brakteen des unteren Teils 16 bis 30 mm lang, die oberen Brakteen verkleinert; unteres Kelchblatt dünn und krumm, 8 bis 9 mm lang, lanzettförmig, ausserhalb fein behaart, innerhalb seidenartig, oberes Kelchblatt oval, zweizählig, 7 mm lang; kahle Fahne, suborbicular, 11,5 bis 14 mm lang und 11 bis 12 mm breit, breiter oberhalb des mittleren Teiles, Flügel 12,8 bis 15 mm lang; Schiffchen in winzigen, Winkel 95 bis 100°.

Samen: Samen 6 bis 8; Hülse 4 bis 5 cm lang und 9 bis 10 mm breit, gekrümmt, feines Flaum bis behaart.

Verbreitung: Insbesondere Vulkangebiete und Kordilliere zwischen 2300 und 4140 m NN (Abb. 4)

Lupinus splendens

L. splendens Rose. Perennierende Pflanze, 60 bis 120 cm hoch, verzweigt, obere Stengeln hohl, 2 bis 5 mm Durchmesser.

Blätter: Blattstiele 2 bis 3 cm lang, fadenförmig; Stipel 8 bis 11 mm lang; Fiederanzahl 5 bis 7, dünn elliptisch, dunkelgrüne Blattoberseite, kahl bis vereinzelte harte Behaarung; blasse und flaumige Blattunterseite; größere Fieder 3 bis 4,5 cm lang und 7 bis 8 mm breit.

Blüten: Blütenstände 12 bis 13 cm lang, gruppenbildend, Gruppen in Abständen von 8 bis 12 mm; Brakteen 5 bis 6 mm lang, vergänglich; Kelch außen seidig, unteres Kelchblatt lanzettförmig, 8 bis 9,8 mm lang, dreizählig oder ganz, oberes Kelchblatt 8,5 bis 9 mm lang, dreiwinklig, zweizählig; Fahne kreisförmig, kahl, 12 bis 15 mm lang, 13 bis 16,5 mm breit, Flügel 13 bis 16 mm lang; Schiffchen fein bewimpert auf der oberen Seite, Winkel 90 bis 98°.

Samen: Samenanzahl 7 oder 8; Hülse 3 bis 3,8 cm lang und 6,5 bis 7 mm breit, fein behaart.

Verbreitung: Insbesondere Vulkangebiete zwischen 1600 und 3800 m NN (Abb. 5)

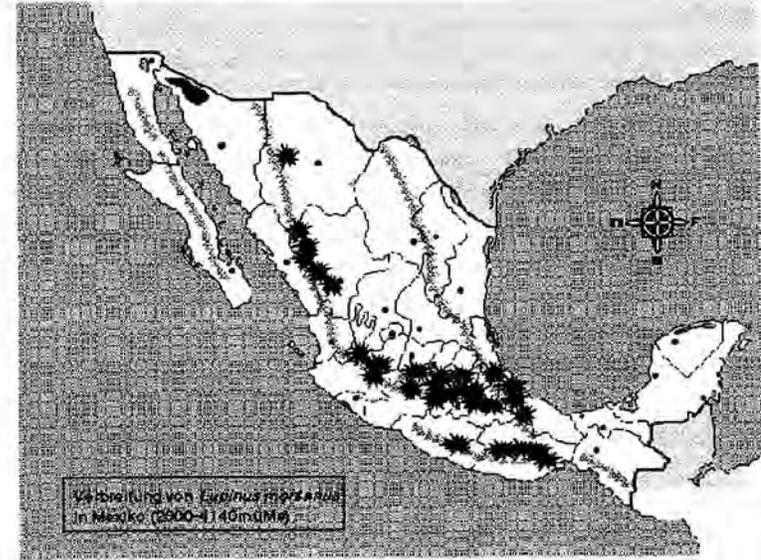


Abb. 4. Verbreitung von *Lupinus montanus* in Mexiko

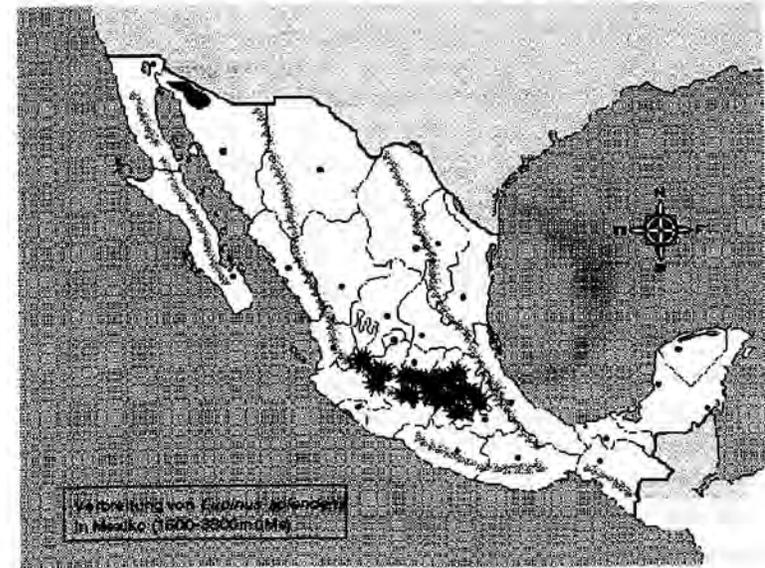


Abb. 5: Verbreitung von *Lupinus splendens* in Mexiko

Lupinus leptophyllus

L. leptophyllus Schl. & Cham. Perennierende Pflanze, 45 bis 50 cm hoch; im oberen Teil hohl, flaumig bis behaart; Haare 3 bis 3,5 mm lang, Stamm versteckt im Laub.

Blätter: Blattstiele 15 bis 18 mm lang; Nebenblätter (Stipel) 10 bis 15 mm lang, linear und grün, blattförmig; Fiederanzahl 5 bis 9, linear, fast fadenförmig, die größten Fieder 2,5 cm lang und 2 mm breit, seidenartige Behaarung auf der Blattunterseite, kahle Blattoberseite.

Blüten: Junge Blütenstände 18 cm lang, gruppenbildend, dicht; Brakteen lanzettförmig, fein behaart, 5 mm lang; Blattstiele 6 bis 7 mm lang, fein behaart; Kelchblätter mit harter Behaarung, unteres Kelchblatt 8 bis 9 mm lang, lanzettförmig, ganz, oberes Kelchblatt 6,6 bis 7,4 mm lang, oval, zweizählig; Fahne kreisförmig, 12,5 bis 13 mm lang und 14 bis 15 mm breit, kahl; Flügel 12,5 bis 14 mm lang und 7,5 bis 8,5 mm breit, Schiffchen kahl, Winkel 90 bis 95°.

Samen: Samenanzahl 7 bis 8; Hülse 28 bis 32 mm lang, 7 bis 7,5 mm breit fein behaart.

Lupinus mexicanus

L. mexicanus Cerv. In Lag. Ein- oder zweijährige Pflanze, 20 bis 60 cm hoch; Zweige hohl, fein behaart; Stipel 15 bis 25 mm lang.

Blätter: Blattstiele 4 bis 10 cm lang, fein behaart; Fiederanzahl 7 bis 9, linear-obovat-lanzettförmig, auf der Blattunterseite fein behaart, meist kahle Blattoberseite; größte Fieder 3 bis 3,5 cm lang und 5 bis 9 mm breit.

Blüten: Blütenstand 10 bis 30 cm lang, verteilte Blüten oder verteilte Gruppen bildend; Brakteen dreieckförmig, behaart, 10 bis 14 mm lang; Kelch behaart, Haare 2 bis 4 mm lang, unteres Kelchblatt dreizählig, obere Kelchblatt zweizählig; Blumenkrone kahl, Fahne halbkreisförmig, 13 bis 16 mm lang und 12 bis 16 mm breit, Flügel 13 bis 17 mm lang, rundes Ende, axtförmig (scharfe Spitze), Schiffchenwinkel 90 bis 95°.

Samen: Samenanzahl 8 oder 9; Hülse 3 bis 4 cm lang und 6 bis 8 mm breit, reichlich feine Behaarung, 2 bis 3 mm lang.

Lupinus stipulatus

L. stipulatus Agardh. Perennierende Pflanze, 1 m hoch, fein und dicht behaart.

Blätter: Blattstiele der größten Fieder 3,5 cm lang; Stipel der größten Fieder 2,5 cm lang, verwachsen 10 bis 12 mm lang, freier Teil linear, 1,5 bis 2 mm breit; Fiederanzahl der größeren Blätter 8 oder 9, größere Fieder 5,5 bis 6,5 cm lang und 9 bis 12 mm breit, Spitzen scharf, mit kleinen Zacken, breiter Teil oberhalb der Mitte, basaler Teil keilförmig; feine harte Behaarung auf beiden Seiten, dunkelgrüne Blattoberseite.

Blüte: Blütenstände 15 bis 28 cm lang; Blüten verteilt und gleichzeitig öffnend, Brakteen lanzettförmig-linear, 10 bis 14 mm lang, vergänglich; Blattstiele 5 bis 8 mm lang; Blumen-

krone kahl, Schiffchen bewimpert lang des oberen Randes, violett oder blau, mit dem Alter rötlich werdend; Fahne oval, stumpf, 12,3 bis 14,5 mm lang, Schiffchen im Winkel 88 bis 97°.

Samen: Samenanzahl 6; Hülse 4 bis 6 cm lang und 10 bis 12 mm breit

Verbreitung: Insbesondere Vulkangebiete zwischen 1400 und 3000 m NN (Abb. 6).

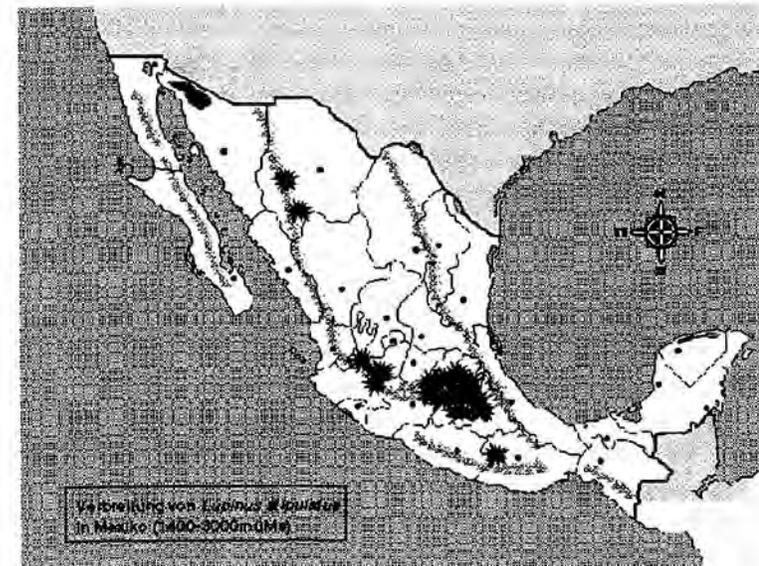


Abb. 6. Verbreitung von *Lupinus stipulatus* in Mexiko

Literaturverzeichnis

- Ainouche, A. Bayer, R. (1996). Phylogenetic relationships among and whiting the old and new world *Lupinus* species (Fabaceae) based on internal transcribed spacer sequences of nuclear ribosomal DNA. En: *Memorias de la 8. Conferencia Internacional de Lupinus*. California, USA, 11-16 Mayo de 1996.
- Käss, E., Wink, M. (1995): Molecular phylogeny of the Papilionoideae (family Leguminosae): RbcL gene sequences versus chemical taxonomy. *Botan. Acta* 108, 149-162
- Käss, E. & M. Wink (1996): Molecular evolution of the Leguminosae: Phylogeny of the three subfamilies based on rbcL-sequences. *Biochemical Systematics and Ecology* 24, 365-378
- Käss, E., & Wink, M. (1997): Phylogenetic relationships in the papilionoideae (family Leguminosae) based on nucleotide sequences of cpDNA (rbcL) and ncDNA (ITS1 and 2). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 8, 65-88
- Käss, E., Wink, M. (1997): Molecular Phylogeny and phylogeography of the genus *Lupinus* (family Leguminosae) inferred from nucleotide sequences of the RbcL Gene and ITS 1+2 sequences of rDNA. *Plant Systematics and Evolution* 208, 139-167,
- Mc Vaugh, R. (1987). *Flora Novo-Galiciana. A descriptive account of the vascular plants of western Mexico. Vol. 5 Leguminosae*
- Planchuelo, A. M. 1996. Biodiversity of Lupins in South America. En: *Memorias de la 8. Conferencia Internacional de Lupinus*. California, USA, 11-16 Mayo de 1996.
- Rzedowski, J. (1979). *Flora fanerogámica del Valle de México*. 326-338. CECSA. México.
- Rzedowski, J. (1996). Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México. Hacia una síntesis de su conocimiento. Eds. Jorge Lorente Bousquets, Alfonso N. García Aldete, Enrique González Soriano, UNAM.

Antinutritive Faktoren (ANFs) in Körnerleguminosen**Michael Wink**

Universität Heidelberg
 Institut für Pharmazeutische Biologie
 Im Neuenheimer Feld 364
 D-69120 Heidelberg

Zusammenfassung

Körnerleguminosen weisen vergleichsweise große und proteinreiche Samen auf. Als Schutzstoffe gegen Herbivore und Mikroorganismen enthalten die meisten Leguminosensamen Sekundärstoffe, sog. Antinutritive Faktoren (ANFs). Diese für die menschliche und tierische Ernährung ungünstigen Inhaltsstoffe lassen sich durch Selektion ANF-freier Varietäten oder durch Prozessierung der Samen entfernen. Während hitzelabile Peptide (z.B. Lectine, Protease Inhibitoren) durch Kochen zerstört werden, lassen sich hitzestabile Substanzen wie Alkaloide, Saponine, Cyanglycoside, Isoflavone, Gerbstoffe, nichtproteinogene Aminosäuren etc. durch Aufkochen und Auswaschen entfernen. Da viele ANFs zugleich auch N- und C-Reserven darstellen, werden sie während der Keimung abgebaut. Deshalb können auch Keimung (Mälzen) und Fermentation als Möglichkeiten angesehen werden, ANFs zu reduzieren. Da viele der ANFs für den natürlichen Schutz der Körnerleguminosen wichtig sind, erscheint es empfehlenswert, diese Substanzen als Schutzkomponenten zu erhalten und sie nach der Ernte durch geeignete Maßnahmen zu entfernen.

Abstract

Grain legumes have relatively big and protein-rich seeds which also contain a wide variety of antinutritional factors (ANFs). Most ANFs have evolved as natural protectants against herbivores and microorganisms. In order to get rid of ANFs which are negative for human and animal nutrition two main avenues can be chosen: 1. to develop ANF-free plant varieties, and 2) to process the seeds after harvest. Heat-labile ANFs (lectins, protease inhibitors) can be denatured by boiling. Heat-stable compounds (alkaloids, saponins, cyanogenic glycosides, isoflavones, tannins, phytates) can be eliminated by boiling and leaching. Several compounds serve as N and C sources for the seedling and are degraded during germination; thus germination and fermentation are another option to lower the amounts of ANFs in seeds and seed products. Since ANFs serve as natural defence compounds it is questionable whether we should eliminate them altogether by plant breeding.

Key Words: Plant breeding, ANF, ecological function, post-harvest processing, fermentation, leaching, heat denaturing

Einleitung

Die Samen der meisten Leguminosen sind relativ groß und speichern Protein, Kohlenhydrate und Lipide als Nahrungsreserven für den Keimling. Aus diesem Grunde sind Körnerleguminosen auch für die Human- und Tierernährung seit langem von großem Interesse. Da jedoch diese Samen auch für Herbivore und Mikroorganismen attraktiv sind, ist es nicht verwunderlich, daß Leguminosen im Verlauf der Evolution eine Vielzahl von Schutzsubstanzen entwickelt haben, um die Samen und Keimpflanzen vor Fraßfeinden und Infektionen zu schützen (Harborne, 1993; Wink 1988, 1993; Roberts & Wink, 1998).

Bei den Leguminosen finden wir vor allem stickstoffhaltige Schutzstoffe, wie Alkaloide, Cyanogene Glycoside, Nichtproteinogene Aminosäuren, Protease Inhibitoren oder Lectine, die manchmal bis zu 10% der gespeicherten N-Speichersubstanzen ausmachen (Tab. 1). Ebenso wie die Speicherproteine werden sie während der Keimung abgebaut und dienen als N-Quelle für die Keimpflanze. Als N-freie Sekundärstoffe finden wir Saponine, Phytinsäuren, Gerbstoffe, Isoflavone oder Oligosaccharide, die während der Keimung als C-Quellen genutzt werden. Gleichzeitig sind diese Sekundärstoffe oder ANFs aber biologisch aktiv, indem sie den Stoffwechsel von Pflanzenfressern oder Mikroorganismen stören können (Tab. 2-10). Sie erfüllen demnach eine Doppelfunktion, nämlich als Schutz- und Reservestoffe (Wink 1988, 1993, 1997; Enneking & Wink, 1998).

Tab. 1. Antinutritive Faktoren (ANFs) in Körnerleguminosen

-
- hitzelabile ANFs
 - Lectine
 - Protease Inhibitoren
 - hitzestabile ANFs
 - Nichtproteinogene Aminosäuren
 - Chinolizidinalkaloide
 - Cyanogene Glycoside
 - Saponine
 - Gerbstoffe
 - Isoflavone
 - Oligosaccharide
 - Phytate
-

Vorkommen von nutzbaren Pflanzenarten innerhalb der Leguminosen

Die Familie Leguminosae stellt mit über 640 Gattungen und 18000 Arten eine der größten Pflanzenfamilien dar. Traditionell unterteilt man diese Familie in die Unterfamilien Caesalpinioideae, Mimosoideae und Papilionoideae. Durch Analyse der cpDNA, insbesondere durch Sequenzierung des *rbcl*-Gens kann man die Evolution der Leguminosen rekonstruieren (Abb. 1). Diese Arbeiten zeigen eindeutig, daß die Mimosoideae sich aus den Caesalpinioideae ableiten (Käss & Wink, 1995, 1996, 1997a,b) und nicht ursprünglich sind, wie früher manchmal angenommen wurde. Abb. 1, der eine Sequenzanalyse des *rbcl*-Gens zugrunde liegt, gibt einen Überblick über die verwandtschaftlichen Beziehungen innerhalb der verschiedenen Unterfamilien und Tribes der Leguminosen.

Da viele Leguminosen stickstofffixierende Knöllchenbakterien beherbergen, können sie als Pionierpflanzen und Bodenverbesserer vielfältig eingesetzt werden. Eine Reihe von Arten weisen große und proteinreiche Samen auf; einige Gattungen wurden deshalb als „Körnerleguminosen“ zur Human- und Tierernährung herangezogen. Es handelt sich dabei vornehmlich um Arten, deren ANFs man durch Hitzebehandlung, Auskochen oder andere Methoden reduzieren oder unschädlich machen kann. Diese nutzbaren Arten finden wir besonders in den Gattungen *Glycine*, *Phaseolus*, *Vigna*, *Cicer*, *Pisum*, *Lens*, *Lathyrus*, *Vicia* und *Lupinus*. Wie Abb. 1 zeigt, haben *Lens*, *Vicia*, *Pisum*, *Lathyrus* und *Cicer* gemeinsame Vorfahren und werden deshalb zu den verwandten Tribes Viciaeae, Trifolieae und Cicereae gerechnet. Sie weisen auch eine ähnliche Zusammensetzung der ANFs auf, in denen NPASSs, Oligosaccharide, Protease-Inhibitoren dominieren. Diese Arten wurden schon früh domestiziert und es wurden Varietäten selektiert, die keine giftigen ANFs mehr enthalten (*Lens culinaris*, *Vicia sativa*, *Cicer arietinum*, *Pisum sativum*).

Innerhalb der Phaseoleae, die besonders in der Neuen Welt beheimatet sind, stellen *Phaseolus*- und *Vigna*- Arten wichtige Körnerleguminosen dar. Auch hier überwiegen NPASSs, Protease Inhibitoren, Lectine und Oligosaccharide als ANFs. In *Phaseolus lunatus* finden wir auch Cyanoglycoside.

Im Tribus Genisteeae werden nur die großsamigen Lupinenarten genutzt, die sich durch Chinolizidin- und Piperidinalkaloide als ANF auszeichnen. Diese Alkaloide werden seit dem Altertum durch Aufkochen und Auswaschen entfernt. Eine besondere Bedeutung haben jedoch die alkaloidarmen Süßlupinen erhalten, die in diesem Jahrhundert zuerst von deutschen Lupinenzüchtern selektiert wurden (Übersicht in Hondelmann, 1996).

Viele der baumartigen Leguminosen werden als Holzlieferanten genutzt, andere Arten als Stroh, Rohstoffe für Pharmaka oder Rauschdrogen. Eine Übersicht über die Verteilung der verschiedenen ANFs bei Leguminosen und ihre Bedeutung für die Chemataxonomie und Evolution findet sich in Wink & Waterman (1999).

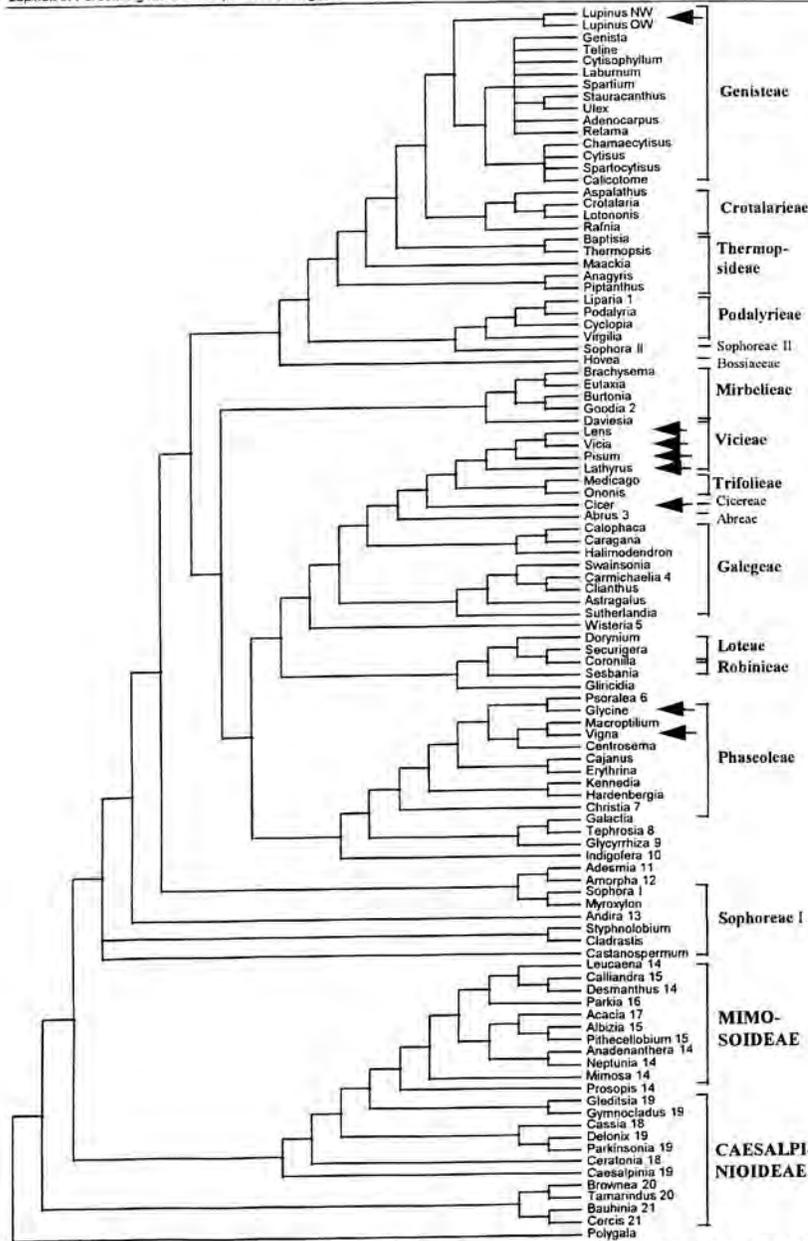


Abb. 1: Phylogenetische Beziehungen innerhalb der Leguminosen (nach Käss & Wink, 1995, 1996, 1997a,b; Wink & Waterman, 1999) auf Sequenzen des *rbcL*-gens basierend. Gattungen mit Körnerleguminosen sind durch Pfeile hervorgehoben

Tab. 2. Hitze-labile ANFs I: Lectine

☛ Lektine sind Glycoproteine

☛ Vorkommen: *Abrus, Dolichos, Canavalia, Glycine, Phaseolus,*

- Lektine binden an Rezeptoren des Intestinaltrakts und damit in Verbindung stehende Organen
⇒ sie simulieren die Aktivität anderer Signalstoffe (z.B. Hormone, Wachstumsfaktoren)

- wenn Lektine resorbiert werden:
⇒ Hemmung der Proteinbiosynthese
⇒ Agglutination der Blutzellen

☛ Funktionen in der Pflanze:

- Stickstoffspeicher Substanzen
⇒ werden während der Keimung metabolisiert und dienen als Aminosäurereserve für den wachsenden Keimling
- Fraßschutz gegen Herbivore

☛ Genetische Manipulation

- Lektine sind genkodierte Toxine ⇒ direkte Targets für genetic engineering
- durch Ausschalten der Lectin Synthese ("Antisense Strategien", gene targeting)
- Transfer und Expression der Lectingene in Kulturpflanzen (z.B. in Baumwolle)
⇒ z.B., um deren Resistenz gegen Insekten zu stärken.

Tab. 3: Hitze-labile ANFs II: Protease Inhibitoren

☛ Protease Inhibitoren sind Peptide:

☛ Vorkommen: *Cajanus, Canavalia, Ceratonia, Cercis, Cassia, Cicer, Dolichos, Gleditsia, Glycine, Lens, Phaseolus, Sophora, Vicia,*

☛ Protease Inhibitoren haben folgende Eigenschaften

- sie hemmen Proteasen (Trypsin [Trypsin-Inhibitoren], Chymotrypsin, Elastase, Plasmin, Subtilisin, Pronase)
- sie schwächen Energieversorgung und Stoffwechsel
- führen zur Verarmung an Schwefel
- sie verursachen andere Störungen

☛ Funktionen in der Pflanze:

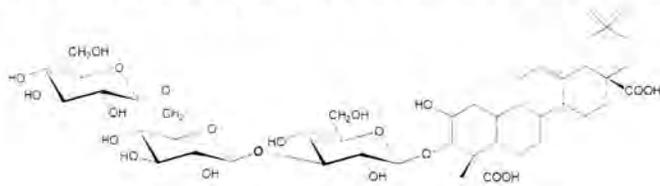
- Stickstoffspeicher Substanzen (s.o.)
- Fraßschutz gegen Herbivore

☛ Eliminierung durch

- Hitzebehandlung (Kochen)
- Genetic engineering

Tab. 4: Hitze-stabile ANFs I: Saponine

☛ Struktur: Saponine sind Triterpene oder Steroide mit amphiphilen Eigenschaften



☛ Vorkommen: Soya, Lupinen, *Phaseolus*,

☛ Wirkung:

- Saponine interagieren mit Biomembranen von Tieren, Pilzen und Bakterien
- Sie komplexieren membrangebundenes Cholesterin
- Sie führen zu einer Störung der Fluidität der Biomembran
 - ⇒ es entstehen „Löcher“ und Poren
 - ⇒ Zellen laufen aus und sterben (z. B. Hämolyse)
- Sie reizen Schleimhäute und Epidermen
- Sie verstärken die Resorption von polaren nichtdiffundierenden Substanzen

☛ Funktion: Chemische Verteidigung vor

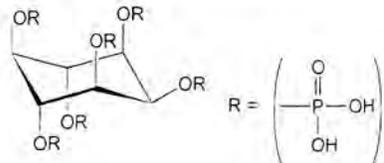
- Pflanzenfressern
- Pilzen
- Bakterien
- Konkurrierenden Pflanzen

☛ Eliminierung:

- Auskochen

Tab. 5: Hitze-stabile ANFs II: Phytinsäuren (Phytate)

☛ Struktur: Inositole mit 4, 5 oder 6 Phosphatgruppen



☛ Vorkommen: Verbreitet in den Samen vieler Körnerleguminosen; Gehalt z. T. höher als 10% (Trockengewicht)

☛ Wirkung:

• Sie bilden stabile Komplexe mit Fe^{2+} , Zink, Mg^{2+} und Ca^{2+} Ionen („Phytate“)

☛ Funktion:

- Speicherung von Phosphat und Mineralsalzen
 - ⇒ wichtig für die Ernährung der Keimpflanze während der Keimung
- Im Verdauungstrakt der Tiere: Herabsetzung der Verdauung
 - ⇒ Erniedrigung der Fe^{2+} , Zink, Mg^{2+} und Ca^{2+} Ionen

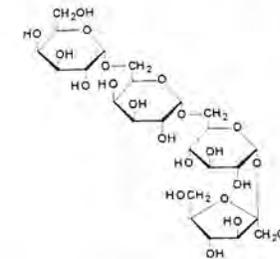
☛ Eliminierung:

- durch Hinzufügen von Enzymen, die Phytinsäuren spalten, sog. Phytasen
- durch Fermentierung
- durch Keimung (Mälzung)
- durch Rösten

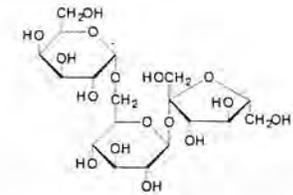
Tab. 6: Hitze-stabile ANFs III: Oligosaccharide

☛ Strukturen: Tetrasaccharide: Stachyose, Trisaccharide: Raffinose

Stachyose



Raffinose



☛ Vorkommen: Samen von Soya, Linsen, Erbsen, Bohnen, Lupinen enthalten relativ viel Oligosaccharide (bis zu 20%)

☛ Wirkung:

- Im Verdauungstrakt der Tiere werden Oligosaccharide mikrobiell umgewandelt; es entstehen Gase (z.B. Methan)
- ⇒ verursachen Flatulenz und andere Störungen

☛ Funktion:

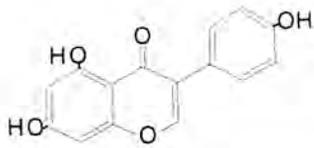
- Kohlenstoffquelle während der Keimung
- Abwehr von Samenprädatoren

☛ Eliminierung

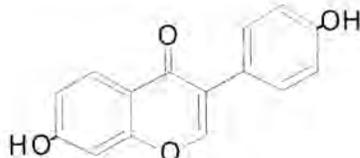
- Auskochen
- Keimung
- Fermentierung

Tab. 7: Hitze-stabile ANFs IV: Isoflavone

* Strukturen:



Genistein



Daidzein

* Vorkommen: Körnerleguminosen (Soya, Kichererbse, Lupinen)

* Wirkung:

- östrogene Aktivität in Vertebraten
⇒ Störungen des Hormonstoffwechsels
- Hemmung von Tyrosin-Proteinkinasen (Genistein: Krebsprävention?)

* Funktion:

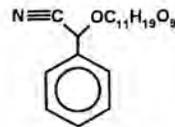
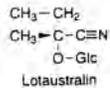
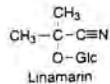
- wirksam gegen phytopathogene Pilze
- Abwehr von Samenprädatoren

* Eliminierung

- Auskochen

Tab. 8: Hitze-stabile ANFs V: Cyanogene Glycoside

* Strukturen:

* Vorkommen: Samen von *Phaseolus lunatus* und *Vicia saliva*

* Wirkung:

- Im Verteidigungsfall, d.h. wenn Pflanzen verletzt werden (z.B. durch herbivore Insekten oder Pilze), kommt es zu einer Dekompartimentierung und Spaltung der Glycoside.
- Reaktion: Cyanogenes Glycoside + β -Glucosidase \Rightarrow 2-Hydroxynitril + Nitrilase \Rightarrow Aldehyd oder Keton und HCN
- HCN ist hochtoxisch für Tiere und Mikroorganismen
- HCN hemmt die Enzyme der mitochondrialen Atmungskette (Cytochrom Oxidasen)

* Funktion:

N Speicherung und Remobilisation während der Keimung

Chemische Abwehr von

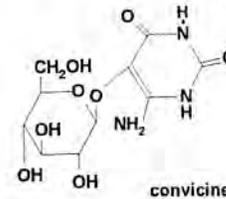
- Tieren
- Pathogenen

* Eliminierung

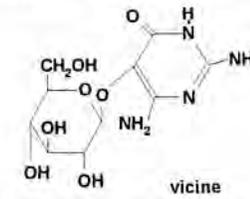
- Auskochen
- Keimung (Mälzen)
- Fermentation

Tab. 9: Hitze-stabile ANFs VI: Nichtproteinogene Aminosäuren (NPAS)

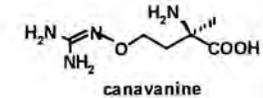
* Strukturen: Mehr als 900 NPAS sind bekannt, die Strukturähnlichkeit mit den 20 proteinogenen Aminosäuren aufweisen



convicine



vicine



canavanine

* Vorkommen: Samen von *Lathyrus*, *Vicia* und vielen anderen Leguminosen der Unterfamilien Papilionoideae, Mimosoideae und Caesalpinioideae

* Wirkung:

- In der ribosomalen Proteinbiosynthese täuschen NPAS biogene Aminosäuren vor und, ins Protein eingebaut, führen sie zu defekten Proteinen und Enzymen (Beispiel: Canavanin, Azetidin-2-carbonsäure)
- NPAS können die Beladung der Aminoacyl-tRNA Synthetase oder andere Schritte der Proteinbiosynthese hemmen
- NPAS können kompetitiv die Aufnahmesysteme für Aminosäuren blockieren
- NPAS können in Vertebraten zu foetalen Mißbildungen, neurologischen Störungen, halluzinogenen Effekten, Haarausfall, Durchfall, Lähmungen, Leberzirrhose, Hypoglycaemie und Arrhythmien führen
- In Pflanzen, Mikroorganismen und Insekten führen NPAS zu Wachstumsstörung und Tod

* Funktion:

N-Speicher und und Remobilierung während der Keimung (NPAS können 10% des Samenstickstoffs ausmachen)

Chemische Abwehr von

- herbivoren Tieren
- Pathogenen

* Eliminierung

- Auskochen
- Keimung
- Fermentation

Tab. 10: Hitze-stabile ANFs VII: Alkaloide

- **Strukturen:** Unter den Körnerleguminosen finden wir insbesondere Chinolizidinalkaloide (QAs) in Lupinen



- **Vorkommen:** Samen von *Lupinus*, *Genista*, *Cytisus*, *Baptisia*, *Thermopsis*, *Sophora*

- **Wirkung:**
- QAs sind Agonisten an nikotinischen und muscarinischen Acetylcholin-Rezeptoren
 - QAs hemmen neuronale Na⁺, K⁺ Kanäle
 - QAs hemmen in höherer Konzentration die Proteinbiosynthese
 - einige QAs stören die Membranpermeabilität
 - QAs schmecken bitter und wirken fraßabschreckend auf Insekten und Vertebraten
 - QAs sind toxisch für Insekten, Vertebraten, Schnecken, Würmer und andere Tiere
 - QAs hemmen das Wachstum von Pflanzen, Pilzen, Bakterien und Viren
 - einige QAs sind teratogen und führen zu foetalen Mißbildungen

- **Funktion:** N Speicher und und Remobilisierung während der Keimung (QAs können bis zu 6% des Samentrockengewichtes betragen)

Chemische Abwehr von

- herbivoren Tieren
- Pathogenen

- **Eliminierung**

- Auskochen
- Keimung
- Fermentation
- Selektion von Süßlupinen

Eliminierung von ANFs

Da die verschiedenen ANFs der Körnerleguminosen der menschlichen und tierischen Ernährung abträglich sind (Tab. 2-10), muß darüber nachgedacht werden, wie man diese Substanzen entgiften oder entfernen kann.

Eine wichtige Ebene ist die Reduktion der ANFs durch Prozessierung nach Ernte. Als Methoden kommen dazu Keimung (Mälzerei), Erhitzen, Auswaschen und Fermentation infrage. Viele dieser Prozesse werden traditionell genutzt, wobei es meist nicht gelingt, den Gehalt an ANFs auf diese Weise komplett zu reduzieren. Eine Reihe von Körnerleguminosen wird heute industriell verarbeitet und fraktioniert, wie z.B. die Soyabohne. Dadurch ist es möglich, Lebensmittel mit einer hohen Qualität und Wertschöpfung zu produzieren, die ANF-frei sind. Diesen Weg müßte man auch bei anderen Arten, wie z.B. bei Lupinen gehen. Er hat den Vorteil, daß man ANF-haltige Varietäten mit guter Resistenz gegen Insekten und Mikroorganismen anbauen könnte und nicht unbedingt auf ANF-freie, dafür aber anfälligere Formen angewiesen ist (Wink 1997a,b).

Eine Alternative zum „post-harvest-processing“ stellt die Reduktion der ANFs durch genetische Veränderungen dar. Zunächst einmal kann man versuchen, durch Selektion aus der natürlich vorhandenen Diversität, Formen zu finden, deren ANF-Zusammensetzung oder Gehalte vorteilhafter sind. In den wenigen Fällen, in denen man die Gene kennt, die Enzyme in der Biosynthese der ANFs kodieren, wäre auch ein Ansatz über das Genetic engineering der zugehörigen Biosynthesepathways denkbar. Durch „Antisense-Strategien“ könnte man solche Biosynthesewege gezielt abschalten. Leider sind wir bei den ANFs der Leguminosen noch relativ weit von einer solchen Lösung entfernt. Handelt es sich bei den ANFs um Peptide, so kann man an ein „genetic engineering“ der Expression des toxischen Proteins selbst denken. Daß dieser Weg grundsätzlich funktioniert, ist an anderen Stellen bereits gezeigt worden. Bei den Körnerleguminosen ist jedoch noch viel Basisarbeit notwendig, selbst wenn die Gene bekannt wären. So fehlen meist entsprechende Systeme zur Transformation und Regeneration von rekombinanten Pflanzen.

Bei der Entscheidung, welchen Weg man zukünftig beschreiten will, muß man ökonomische Zwänge (wie z.B. die Kosten für Prozessierung/ Pflanzenzucht) gegen ökologische Rahmenbedingungen (ANFs schützen Pflanzen vor Herbivore und Mikroorganismen) abwägen. Je nach Verwendungszweck und potentielle Märkte werden die Lösungswege unterschiedlich ausfallen. In jedem Falle benötigen wir eine solide wissenschaftliche Basis über die Zusammensetzung, Biochemie, Toxikologie und Ökologie der zugrunde liegenden ANFs sowie ein breites Knowhow, um biotechnologische Lösungswege einzuschlagen, die sowohl ökonomisch als auch ökologisch vertretbar sind.

Literatur

- Enneking, D., & Wink, M. Towards the elimination of anti-nutritional factors in grain legumes. Proc. 3rd Intl. Food Legume Research Conf. Adelaide, 1997 (in press)
- Hondelmann, W. (1996). Die Lupine. Geschichte und Evolution einer Kulturpflanze. Landbauforschung Völknerode, Sonderheft 162
- Käss, E., Wink, M. (1995): Molecular phylogeny of the Papilionoideae (family Leguminosae): RbcL gene sequences versus chemical taxonomy. *Botan. Acta* 108, 149-162
- Käss, E. & M. Wink (1996): Molecular evolution of the Leguminosae: Phylogeny of the three subfamilies based on rbcL-sequences. *Biochemical Systematics and Ecology* 24, 365-378
- Käss, E., & Wink, M. (1997): Phylogenetic relationships in the Papilionoideae (family Leguminosae) based on nucleotide sequences of cpDNA (rbcL) and ncDNA (ITS1 and 2). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 8, 65-88
- Käss, E. & Wink, M. (1997): Molecular Phylogeny and phylogeography of the genus *Lupinus* (family Leguminosae) inferred from nucleotide sequences of the RbcL Gene and ITS 1+2 sequences of rDNA. *Plant Systematics and Evolution* 208, 139-167,
- Roberts, M.F. & M. Wink, (eds). (1998) Alkaloids: Biochemistry, ecology and medicinal applications; Plenum, New York, 486 pp (chapter Introduction pp 1-7)
- Wink, M.: Plant breeding: Importance of plant secondary metabolites for protection against pathogens and herbivores. *Theoretical Applied Genetics* 75, 225-233 (1988)
- Wink, M. (1997) Resistance to insects and other pests: role of plant secondary metabolites. *Grain legumes* 15, 16-17.
- Wink, M. (1997) Quinolizidine alkaloids: Biological activities and potential applications. In: Effects of antinutrients on the nutritional value of legume diets. S. Bardocz, M. Muzquiz, A. Pusztai (eds). pp. 1-7, Cost 98; EU Brüssel.
- Wink, M. & Waterman, P. (1999). Chemotaxonomy in relation to molecular phylogeny of plants. In „The role of plant secondary metabolites and their utilisation in biotechnology“ M. Wink, ed., Sheffield Academic Press

Isoflavone in Lupinen: Mögliche gesundheitliche Konsequenzen.**Jaroslav Tóth und Michael Wink**

Universität Heidelberg

Institut für Pharmazeutische Biologie

Im Neuenheimer Feld 364

D-69120 Heidelberg

Zusammenfassung

Genistein ist das am häufigsten vorkommende Aglykon unter den Isoflavonoiden der Lupinen und Sojabohne. Seitdem seine spezifische inhibitorische Aktivität gegenüber den Tyrosin-spezifischen Proteinkinasen erkannt worden ist, häufen sich Untersuchungen über sein Potential als diätärer Faktor bei der Chemoprevention gegen Krebs. Phytoöstrogene und einige andere biochemische Aktivitäten sollten bei der Bewertung dieser Verbindung zusätzlich berücksichtigt werden.

Summary

Genistein is the most frequent aglycone of lupin and soy isoflavonoids. Numerous investigations on its potential as a dietary cancer chemopreventive agent have been carried out since its specific inhibitory activity towards tyrosine-specific protein kinases had been recognized. Phytoestrogenic and some other activities should also be considered when discussing the value of this compound and other isoflavonoids in lupins.

Key words: genistein, pharmacological activity, tyrosine kinase, *Lupinus*, soybean, chemoprevention,

Einleitung

Flavonoide sind polyphenolische Verbindungen, Derivate von Phenylchromon (Abb. 1a, b). In den höheren Pflanzen sind sie ubiquitär verbreitet und für eine große Anzahl der gelblichen Pflanzenfarben verantwortlich. Neben den weitverbreiteten Flavonoiden sind Isoflavone insbesondere bei Leguminosen der Unterfamilie Papilionoideae charakteristische Sekundärstoffe.

Der Mensch konsumiert auch mit normaler Ernährung schätzungsweise 1 g verschiedener Flavonoide pro Tag (Middleton, 1984). Bei Vegetariern, Makrobiotikern und

Menschen, die regelmäßig typische südostasiatische Diät konsumieren, ist diese Menge noch erhöht, ebenso der Anteil der Isoflavonoide [ca. 50-100 mg Isoflavonoide/Tag (Barnes, 1995) im Vergleich zu <1 mg/Tag bei „westlicher“ Diät (Messina et al., 1994)].

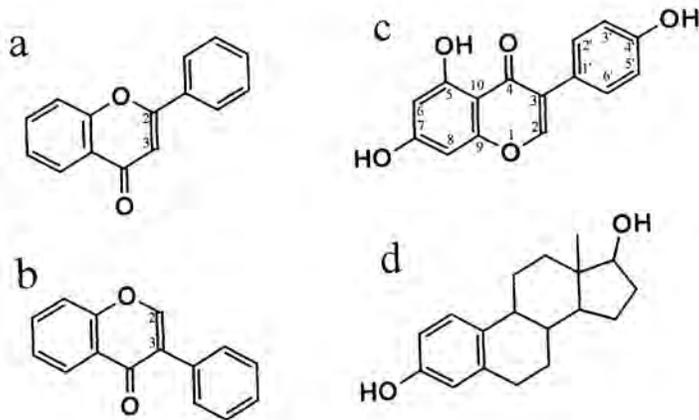


Abb. 1: Chemische Strukturen von a) Flavon b) Isoflavon c) Genistein und d) Estradiol

Die Flavonoide und Isoflavonoide repräsentieren eine Gruppe von Naturstoffen, die neben den Lupinenalkaloiden eine breitere Beachtung verdienen. Alkaloide zeichnen sich durch bitteren Geschmack und Toxizität aus, deshalb hat man versucht, sie durch Kochen zu entfernen oder durch das Züchten von neuen „süßen“ Kultivaren zu eliminieren. Im Unterschied dazu sind Isoflavonoide (hauptsächlich Genistein) geschmacklich nicht auffällig und erst vor einigen Jahren als Träger interessanter pharmakologischer Eigenschaften bei mehreren Vertretern der Leguminosen (z.B., Soja, Lupinen) erkannt worden.

Es wurden bisher mehr als 50 Isoflavonoidstrukturen in verschiedenen Arten der Gattung *Lupinus* identifiziert (Ingham et al., 1982; Shibuya et al., 1991; Tahara et al., 1984, 1989, 1990, 1994). Quantitativ am häufigsten jedoch sind Genistein (Abb. 1c),

2'-Hydroxygenistein, bzw. deren Glukoside vertreten. Ähnlich wie bei Soja sind die Glukoside teilweise mit Acylgruppen (Acetyl- und Malonyl-) substituiert. Auch die übrigen, meist in Spuren auftretenden Isoflavone sind chemisch von Genistein bzw. dem 2'-Hydroxygenistein abzuleiten - durch Substitution mit einer Prenylgruppe in den Positionen 6, 8 und/oder 3' (Abb. 1c) und einer evtl. darauffolgenden Zyklisation des reaktiven Isopentenyls mit einer benachbarten Hydroxylgruppe (Tahara & Ibrahim, 1995).

Was die Untersuchungen über biologische Wirkungen dieser Verbindungen angeht, wurde die meiste Aufmerksamkeit auf Genistein gerichtet, das wirklich höchst interessante Eigenschaften bei *in vitro* und *in vivo* Modellversuchen aufweist. Im folgenden Beitrag sind die bisherigen Ergebnisse der Studien mit diesem Sekundärstoff in einem kurzen Überblick zusammengefaßt.

Isoflavonoide und Krebs

Durch epidemiologische Studien konnte aufgezeigt werden, daß bei Menschen in Südostasien Brust- und Prostatumore signifikant seltener auftreten als in der westlichen Bevölkerung (Messina et al., 1994). Daß dieser Sachverhalt auf diätäre und nicht etwa ethnopharmakologische Gründe zurückzuführen ist, zeigt sich daran, daß ein ähnlicher Trend auch bei westlichen Vegetariern und Makrobiotikern, wie auch bei asiatischen Einwanderern in andere Teile der Welt, die weiterhin traditionelle Diät konsumiert haben, nachweisbar ist, nicht aber bei der 2. Generation von Asiaten in den USA, die „westliche“ Diät konsumieren (Herman et al., 1995). Einer der markantesten Unterschiede zwischen den beiden erwähnten Diätrichtungen dürfte ohne Zweifel ein höherer Anteil von Hülsenfrüchten, hauptsächlich Soja, in der asiatischen Küche sein.

Der Hypothese von einer Korrelation zwischen dem erhöhten Konsum von Soja und einer niedrigeren Inzidenz von Tumoren folgend, wurden daher zahlreiche Studien mit Soja, oder Produkten und Isolaten aus Soja durchgeführt, um den Einfluß auf Tumorzellen und die Häufigkeit der Tumorentstehung zu untersuchen. Es wurden unter anderem Tumore und Tumorzellen von Brust, Leber, Dickdarm, Prostata, Haut, Magen und der Harnblase studiert (Herman et al., 1995; Barnes, 1995; Peterson, 1995 und jeweils darin zitierte Referenzen). Es wurde entweder eine protektive oder keine Beeinflussung festgestellt. Es ist weiterhin bewiesen worden, daß nur die Stofffraktionen aus Soja eine Aktivität aufwiesen, die auch Isoflavonoide enthalten.

Viele auf Soja basierende Nahrungsmittel enthalten höhere Konzentrationen von Isoflavonoiden aufgrund deren Bindung an Proteine (Barnes et al., 1995). Proteinkonzentrate jedoch, bei deren Gewinnung wäßrige ethanolische Lösungen zum Auswaschen aus Sojaflocken verwendet wurden, enthalten nur Spuren von Isoflavonoiden (Wang & Murphy, 1994) und zeigten sich als inaktiv in Krebs-Tiermodellen; stattdessen wurde eine entsprechende Aktivität im ethanolischen Rückstands beobachtet (Barnes, 1995). Die Inhibition des Tumorzellwachstums durch die Isoflavonoidfraktion, wie auch durch Ge-

nstein selbst kann auch quantitativ ausgewertet werden (Peterson, 1995). Weiterhin besteht eine negative Korrelation zwischen der Exkretion von Isoflavonoiden im Urin und dem Vorkommen von Tumoren (Clawson, 1996).

Biochemie und Pharmakodynamik von Genistein

Als biochemische Wirkungsmechanismen für die oben genannten Beobachtungen werden folgende Eigenschaften von Genistein diskutiert:

- östrogene Aktivität
- selektive Inhibition von Tyrosin-spezifischen Proteinkinasen
- Aktivität gegenüber anderen Enzymen
- antioxidative Eigenschaften

Östrogene Wirkungen

Seit Urzeiten wurden Pflanzen zur Regulierung der Fertilität genutzt. Genistein und seine Metabolite gehören zu Phytoöstrogenen, einer Gruppe von Naturstoffen, die die Effekte von Östrogenhormonen nachahmen können und schon vor längerer Zeit bei der Schafzucht als Verursacher von „clover disease“ (Infertilität nach Verzehr australischen Klees) beobachtet wurden (Molteni et al., 1995; Herman et al., 1995; Barnes & Peterson, 1995). Schon durch einen einfachen Vergleich der Strukturen von Genistein und Estradiol (Abb. 1c, d) wird eine gewisse strukturelle Ähnlichkeit offensichtlich.

Isoflavonoide haben eine relativ niedrige Bindungsaffinität zu Steroidrezeptoren im Vergleich zu den Hormonen - Genistein höchstens 1% der Bindungsaffinität von Estradiol (Molteni et al., 1995). Trotzdem bleibt seine Wirkung auf Organsysteme, wie auch auf Zellen meßbar, wenn größere Mengen mit der Nahrung zugeführt werden. Genistein kann sowohl östrogene als auch antiöstrogene Aktivitäten entwickeln, abhängig von der Konzentration und der gleichzeitigen Präsenz anderer Östrogenhormone, mit denen es an den Bindungsstellen der Östrogenrezeptoren kompetitiert. Das bedeutet, daß Isoflavonoide und ähnliche Phytoöstrogene an Rezeptorproteine der Hormone im Cytosol der Zelle binden (Abb. 2), aber eine niedrigere Aktivität besitzen, um als Rezeptor-Ligand Komplex in den Zellkern transportiert zu werden, wo Steroidhormone steroidabhängige Gene aktivieren bzw. desaktivieren. Eine andere Theorie nimmt an, daß Phytoöstrogene mit der Freisetzung von Gonadotropinen interferieren und durch kompetitive Bindung mit den Östrogenen eine Unterbrechung des „feedback“-Systems auf der Axe Hypothalamus-Hypophyse-Gonaden verursachen. (MOLTENI *et al.*, 1995)

Außerdem ist gezeigt worden, daß Isoflavonoide die Produktion von sexualhormonbindenden Globulinen in der Leber stimulieren, was zu einer Senkung der plasmatischen Konzentration von Geschlechtshormonen führt (Herman et al., 1995).

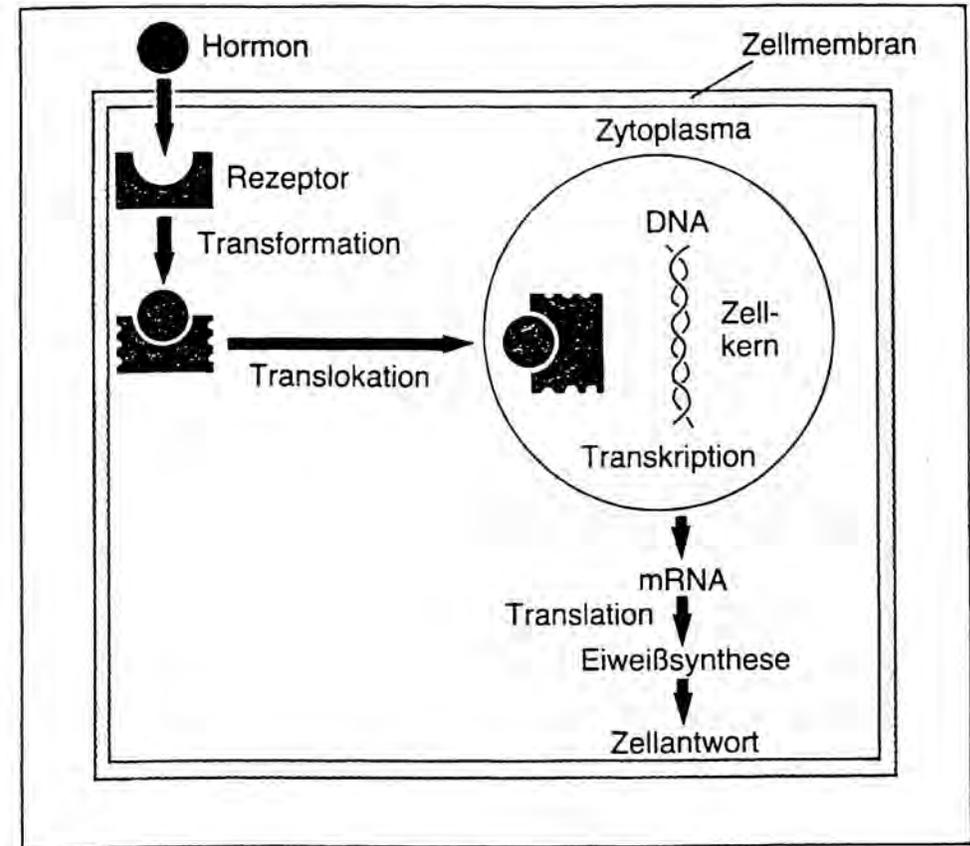


Abb. 2: Schematische Darstellung der Wirkung eines Steroidhormones über einen intrazellulären Rezeptor und Genaktivierung. (nach Mutschler (1996): Arzneimittelwirkungen)

Inhibition von Tyrosin-spezifischen Proteinkinasen

Ein erhöhtes Interesse an Genistein zeigte sich, als im Jahr 1987 von Akiyama et al. seine Aktivität als spezifischer Inhibitor der Tyrosin-spezifischen Proteinkinasen entdeckt wurde ($IC_{50} = 2,6 \mu M$). Obwohl Tyrosin vergleichsweise selten in Proteinen der Zelle phosphoryliert wird, haben diese Modifikationen große Bedeutung, da sie fast immer die Aktivität von Proteinen regulieren und in Signalkaskaden eingebettet sind (Casnellie,

1991). Die Tyrosin-Proteinkinasen haben eine gewisse chemische Ähnlichkeit mit den Östrogen- und Progesteronrezeptoren und sind assoziiert mit Rezeptoren für Wachstumsregulatoren, wie z.B. *epidermal-growth-factor*, *platelet-derived-growth-factor*, *insulin* und *insulin-like-growth-factor* (Akiyama et al., 1987). Durch diese Verknüpfung spielen sie eine wichtige Rolle bei dem Zellwachstum und der Zelltransformierung (Abb. 3).

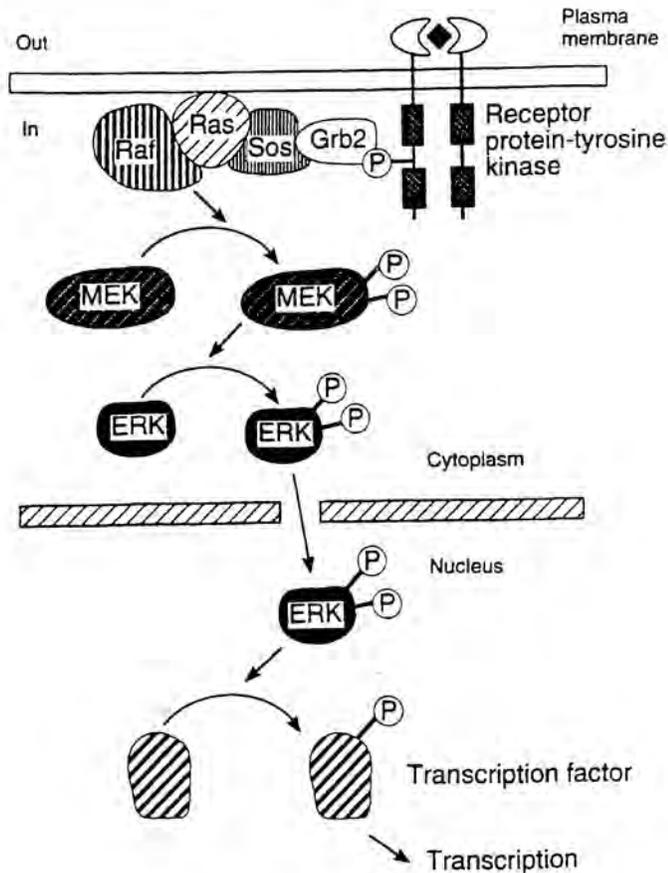


Abb. 3: Schlüsselstellung der Tyrosin-Proteinkinasen in der zellulären Signaltransduktion. Schematische Darstellung der Reaktionskaskade im Zytosol und der Übertragung des Signals in den Zellkern (nach Hunter, 1996)

Rezeptorgekoppelte Tyrosin-Proteinkinasen sind Transmembranproteine und leiten die extrazellulären Signale der Wachstumsfaktoren durch eine Kaskade von Phosphorylierungsreaktionen spezifischer Proteine im Zytosol bis in den Zellkern, wo die Transkription aktiviert wird (Abb. 3; Hunter, 1996). Physiologische Tyrosinkinase sind autoreguliert, d. h. nach dem Weiterleiten des extrazellulären Signals „schaltet“ sich ihre Aktivität durch Dephosphorylierung wieder aus. Einige Onkogenprodukte der Retroviren (vOnc) oder zelluläre Onkogene (cOnc) sind Proteine mit der Aktivität einer Tyrosinkinase (Egan & Weinberg, 1993). Bei diesen „pathologischen“ Enzymen fehlt aber die autoregulative Eigenschaft, es kommt zu einer unkontrollierten Vermittlung von Wachstums- und Produktionssignalen in die Zelle. Das hat eine Proliferation der Zielzelle zu Folge, es entsteht ein malignes Zentrum (Levitzi & Gazit, 1995). Genistein kompetitiert mit ATP an dessen Bindestelle am Rezeptor der Tyrosinkinase und anderer Proteinkinasen (Casnelli, 1991), kann also schon ganz am Anfang dieser Kaskade eingreifen (Levitzi & Gazit, 1995).

Aktivität gegenüber anderen Enzymen

Interaktionen mit weiteren Enzymen, wie z.B. Hemmung der Aromatase, die bei der Synthese von Steroidhormonen in den Adipozyten beteiligt ist (Herman et al., 1995), und der DNA-Topoisomerase II können zum Wirkungsmechanismus von Genistein beitragen. Bei Topoisomerase II wirkt Genistein als stabilisierender Faktor für den normalerweise dissoziierbaren Komplex DNA-Topoisomerase II, was zu DNA-Strangbrüchen führt, wodurch das Wachstum der Zelle inhibiert wird und eine Differentiation der wuchernden Zelle, bzw. der Zelltod eintritt. In Jurkat T-Leukämie Zellen wurde eine Hemmung der Zellteilung und die Auslösung von Apoptose (einer biochemischen Kaskade, die zum Zelltod führt) beobachtet (Constantinou & Huberman, 1995).

Antioxidative Wirkungen

Ein Teil der antikanzerogenen Effekte von Genistein mag auch an seinen antioxidativen Wirkungen liegen. Genistein in Soja wurde lange Zeit als chemisches Antioxidant für die Lebensmittelindustrie deklariert (Peterson, 1995). Es wurde bestätigt, daß Genistein in Tumorzellen die Produktion von reaktiven Sauerstoffformen (Wasserstoffperoxid) als Antwort auf die Exposition mit chemischen Mutagenen inhibiert; es wird aber angenommen, daß dies eher auf biochemischer Ebene als in der Form einer chemischen Reaktion geschieht (Barnes & Peterson, 1995).

Wirkungen auf Zell- und Organebene

Außer der Zellproliferation ist die Bildung von neuen Blutgefäßen (Angiogenese) zum Tumor eine andere kritische Stelle für das Wachstum von Tumoren, an der Genistein eingreifen könnte. Avaskuläre Tumore können nicht über einen Durchmesser von 1-2 mm wachsen (Fotsis et al., 1995). Neue Blutgefäße bilden für die Zellen ein Eingangstor, durch das sie mit Nährstoffen versorgt werden, zugleich aber auch ein neues

Ausgangstor für Tumorzellen, die Metastasen in weiteren Geweben bilden können. Obwohl der Mechanismus der pathologischen Angiogenese bisher unklar ist, wird angenommen, daß dies eine Störung im Gleichgewichtszustand zwischen Angiogenese aktivierenden und hemmenden Faktoren sein könnte, vergleichbar mit dem Ungleichgewicht der Wachstumsregulation in Tumorzellen (Liotta et al., 1991). Bei der Suche nach Inhibitoren der Angiogenese wurde durch Testen verschiedener Fraktionen des menschlichen Urins Genistein als eine dieser Substanzen identifiziert. Genistein inhibierte signifikant das Wachstum von einzelnen proliferierenden Zellen unter Einfluß von *basic-fibroblast-growth-factor*, wirkte aber erst bei sehr hohen Konzentrationen cytotoxisch auf koherente und Zellen, die sich in der Wachstumsruhephase befindend (Fotsis et al., 1995). Ursächlich könnte man dies wieder mit einer Inhibition der Tyrosinkinase bzw. der Topoisomerase II in Verbindung bringen (Constantinou & Huberman, 1995; Koroma & de Juan, 1997).

Eine protektive Wirkung auf das kardiovaskuläre System durch Genistein wird ebenso diskutiert. Sie basiert auf seinen antiatherogenen Eigenschaften. Wie vorhin erwähnt wird durch Inhibition der Tyrosinkinase die Wirkung von damit verknüpften Wachstumsfaktoren wie *platelet-derived-growth-factor* und *basic-fibroblast-growth-factor* blockiert. Diese beteiligen sich unter anderem auch am Wachstum von atherosklerotischen Läsionen und der Proliferation der glatten Muskelzellen in der Intima, wie auch der durch Thrombin induzierten Aktivierung und Aggregation von Thrombozyten bei der Thrombusbildung an der verletzten Stelle der Blutgefäßwand. Gerade bei fortgeschrittenen Läsionen kann es zur Neovascularisation kommen, die durch Genistein hemmbar ist. Die antioxidativen Eigenschaften von Genistein können außerdem die LDL Fraktion der plasmatischen Lipoproteine vor Oxidation schützen, was auch bei klinischen Tests nachgewiesen worden ist (Wiseman, 1996).

In *in vitro* Versuchsmodellen äußert sich der Einfluß von Genistein auf wuchernde Zellen durch Inhibition der Proliferation und evtl. Differentiation. Es besteht jedoch eine Diskrepanz zwischen den festgestellten IC_{50} -Werten, die für die Inhibition von bestimmten Zellen notwendig sind und der höchsten *in vivo* erreichbaren Plasmakonzentration, die bei Menschen, die Diät mit hohem Genisteingehalt konsumieren, bei etwa 5 μ M liegt (man beachte, daß die IC_{50} für Protein Tyrosin Kinase Hemmung bei 2,6 μ M liegt, also in der gleichen Größenordnung). Auch wenn man in Betracht zieht, daß Genistein wegen seiner relativ hohen Lipophilie in höherer Masse in die Zellen aufgenommen wird, wird Zellwachstumsinhibition durch Genistein an Zelltypen mit einer IC_{50} unter 13,2 μ M beschränkt bleiben (Barnes, 1995).

Genistein kann eine Turorentstehung sicher nicht komplett verhindern. Eine anhand von Tiermodellen beim Menschen anzunehmende Chemoprevention im Sinne der Verlängerung der Latenzzeit vor der Entstehung eines Tumors um 5-10 Jahre würde jedoch auch eine tiefgründige Verbesserung des allgemeinen Gesundheitsstandes darstellen. (Barnes, 1995)

Diätäre Nutzung und Verarbeitung von Lebensmitteln mit Isoflavonoiden

Sojabohnen enthalten etwa 1-3 mg/g Isoflavonoide (Wang & Murphy, 1994), Samen von *Lupinus albus* etwa 50 μ g/g, der Gehalt wird jedoch durch Ankeimen (2-3 Tage) in den Keimlingen beträchtlich erhöht (Gagnon et al., 1995). Da die Isoflavonoide im größten Teil stark an Proteine gebunden sind, ändert sich der Gehalt und die Zusammensetzung der jeweiligen Isoflavonoidgemische durch äußere Bedingungen bei der Verarbeitung von Samen grundsätzlich eher wenig. Wenn bei der Proteinisolierung jedoch wäßrig-ethanolische Gemische verwendet werden, geht aufgrund der guten Löslichkeit von Isoflavonoiden in Ethanol der Hauptteil verloren. Das Entstehen von höheren Temperaturen bei dem Mahlen von Mehl scheint keine Auswirkung auf die Flavonoide zu haben, beim evtl. Rösten können sich Malonylderivate zersetzen, bei der Fermentation kommt es zu enzymatischer Hydrolyse. Es wird aber angenommen, daß sowieso nur die jeweiligen Aglykone vom Verdauungstrakt resorbiert werden, entweder direkt oder nach der Glykosidspaltung durch die Mikroflora im Dünndarm oder nach mikrobieller Deacylierung und Glykosidspaltung im Dickdarm (Anderson & Wolf, 1995; Barnes, 1995).

Bei Soja werden die Isoflavonoide als Träger des leicht bitteren Geschmacks genannt. Bei Lupinen sollte das eher minderwichtig sein, da hier bekanntlich eher Alkaloide für diese Eigenschaft verantwortlich sind und wie oben erwähnt, ist der Isoflavonoidgehalt bei Lupinen auch niedriger.

Im Unterschied zu Soja genießen Lupinen bisher noch keine breite Verbreitung in der Lebensmittelindustrie, obwohl sich grundsätzlich sehr ähnliche Produkte und Nutzungen anbieten (Rayas-Duarte et al., 1996). Die auf Lupinen basierenden Lebensmittel haben teilweise sogar bessere Geschmackseigenschaften. Der Zusatz von Lupinenprodukten zu anderen Nahrungsmitteln (z.B. Mehl) könnte durch die tägliche Zufuhr von Genistein und essentiellen Aminosäuren (z.B. Lysin) ernährungsphysiologisch interessant und bedeutsam sein.

Dank: Der Studien- und Forschungsaufenthalt von J. T. in Heidelberg wurde durch ein Stipendium des Deutschen Akademischen Austauschdienstes (DAAD A/96/13799) ermöglicht.

Literatur

- Akiyama, T., Ishida, J., Nakagawa, S., Ogawara, H., Watanabe, S., Itoh, N., Shibuya, M. & Fukami, Y. (1987). Genistein, a specific inhibitor of tyrosine-specific protein kinases. *J. Biol. Chem.* 262, 5592-5595.
- Anderson, R.L. & Wolf, W.J. (1995). Compositional changes in trypsin inhibitors, phytic acid, saponins and isoflavones related to soybean processing. *J. Nutr.* 125, 581S-588S.
- Barnes, S. (1995). Effects of genistein on *in vitro* and *in vivo* models of cancer. *J. Nutr.*

- 125, 777S-783S.
- Barnes, S. & Peterson, T.G. (1995). Biochemical targets of the isoflavone genistein in tumor cell lines. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 208, 103-108.
- Barnes, S., Peterson, T.G. & Coward, L. (1995). Rationale for the use of genistein-containing soy matrices in chemoprevention trials for breast and prostate cancer. *J. Cell. Biochem. (Suppl.)* 22, 181-187.
- Casnellie, J.E. (1991). Protein kinase inhibitors: probes for the functions of protein phosphorylation. *Adv. Pharmacol.* 22, 167-205.
- Clawson, G.A. (1996). Protease inhibitors and carcinogenesis: a review. *Cancer Investigation* 14, 597-608.
- Constantinou, A. & Huberman, E. (1995). Genistein as an inducer of tumor cell differentiation: possible mechanisms of action. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 208, 109-115.
- Egan, S.E. & Weinberg R.A. (1993). The pathway to signal achievement. *Nature* 365, 781-783.
- Fotsis, T., Pepper, M., Adlercreutz, H., Hase, T., Montesano, R. & Schweiger, L. (1995). Genistein, a dietary ingested isoflavonoid, inhibits cell proliferation and in vitro angiogenesis. *J. Nutr.* 125, 790S-797S.
- Gagnon, H., Tahara, S. & Ibrahim, R.K. (1995). Biosynthesis, accumulation and secretion of isoflavonoids during germination and development of white lupin (*Lupinus albus* L.). *J. Exp. Bot.* 46, 609-616.
- Herman, C., Adlercreutz, T., Goldin, B.R., Gorbach, S.L., Höckerstedt, K.A.V., Watanabe S., Hämäläinen, E.K., Markkanen, M.H., Mäkelä, T.H., Wähälä, K.T., Hase, T.A. & Fotsis, T. (1995). Soybean phytoestrogen intake and cancer risk. *J. Nutr.* 125, 757S-770S.
- Hunter, T. (1996). Tyrosine phosphorylation: past, present and future. *Biochem. Soc. Trans.* 24, 307-327.
- Ingham, J.L., Tahara, S. & Harborne, J.B. (1982). Fungitoxic isoflavones from *Lupinus albus* and other *Lupinus* species. *Z. Naturforsch.* 38c, 194-200.
- Koroma, B.M. & de Juan, E., Jr. (1997). Inhibition of protein tyrosine phosphorylation in endothelial cells: relationship to antiproliferative action of genistein. *Biochem. Soc. Trans.* 25, 35-40.
- Levitzky, A. & Gazit, A. (1995). Tyrosine kinase inhibition: an approach to drug development. *Science* 267, 1782-1788.
- Liotta, L.A., Steeg, P.S. & Stetler-Stevenson, W.G. (1991). Cancer metastasis and angiogenesis: an imbalance of positive and negative regulation. *Cell* 64, 327-336.
- Messina, M.J., Persky, V., Setchell, K.D.R. & Barnes, S. (1994). Soy intake and cancer risk: a review of the in vitro and in vivo data. *Nutr. Cancer* 21, 113-131.
- Middleton, E.J. (1984). The flavonoids. *Trends Pharmacol. Sci.* 5, 335-338.
- Molteni, A., Brizio-Molteni, L. & Persky, V. (1995). In vitro hormonal effects of soybean isoflavones. *J. Nutr.* 125, 751S-756S.
- Mutschler, E. (1996) *Arzneimittelwirkungen*. WVG. Stuttgart
- Peterson, G. (1995). Evaluation of the biochemical targets of genistein in tumor cells. *J. Nutr.* 125, 784S-789S.
- Rayas-Duarte, P., Mock C.M. & Satterlee, L.D. (1996). Quality of spaghetti containing buckwheat, amaranth and lupin flours. *Cereal Chem.* 73, 381-387.
- Shibuya, Y., Tahara, S., Kimura, Y. & Mizutani, J. (1991). New isoflavone glucosides from white lupin (*Lupinus albus* L.). *Z. Naturforsch.* 46c, 513-518.
- Tahara, S. & Ibrahim, R.K. (1995). Prenylated isoflavonoids - an update. *Phytochemistry* 38, 1073-1094.

- Tahara, S., Ingham, J.L., Nakahara, S., Mizutani, J. & Harborne, J.B. (1984). Fungitoxic dihydrofurostanisoflavones and related compounds in white lupin, *Lupinus albus*. *Phytochemistry* 23, 1889-1900.
- Tahara, S., Katagiri, Y., Ingham, J.L. & Mizutani, J. (1994). Prenylated flavonoids in the roots of yellow lupin. *Phytochemistry* 36, 1261-1271.
- Tahara, S., Orihara, S., Ingham, J.L. & Mizutani, J. (1989). Seventeen isoflavonoids from *Lupinus albus* roots. *Phytochemistry* 28, 901-911.
- Tahara, S., Shibaki, S., Ingham, J.L. & Mizutani, J. (1990). Further isoflavonoids from white lupin roots. *Z. Naturforsch.* 45c, 147-153.
- Wang, H. & Murphy P.A. (1994). Isoflavone content in commercial soybean foods. *J. Agric. Food Chem.* 42, 1666-1673.
- Wiseman, H. (1996). Role of dietary phyto-estrogens in the protection against cancer and heart disease. *Biochem. Soc. Trans.* 24, 795-800.

Einführung in die Analytik von Lupinenalkaloiden mittels GC-MS

Andreas Tei und Michael Wink

Institut für Pharmazeutische Biologie

Universität Heidelberg

Im Neuenheimer Feld 364

D-69120 Heidelberg

Zusammenfassung

In der instrumentellen Analytik hat sich die Analyse unzersetzt verdampfbarer, flüchtiger Stoffe mit Hilfe der Gaschromatographie (GC) und Massenspektroskopie (MS) als moderne, präzise und schnelle Analysenmethode etabliert.

Die in der Gattung *Lupinus* enthaltenen, bitter schmeckenden und zum Teil toxischen Sekundärstoffe vom Typ Chinolizidinalkaloide (QA), lassen sich durch die Methode der Festphasenextraktion (SPE) quantitativ aus dem Pflanzenmaterial extrahieren und anschließend mit Hilfe einer Gerätekombination von Gaschromatograph und Massenspektrometer (GC-MS) problemlos, bis hin zu Mengen von wenigen Nanogramm im Probenmaterial nachweisen, identifizieren und quantifizieren. Die zunächst zur Analyse notwendige Trennung des im Pflanzenextraktes vorliegenden komplexen Chinolizidinalkaloidgemisches, erfolgt mit Hilfe der Gaschromatographie. Die Identifizierung der im Gaschromatogramm als Signale (Peaks) erscheinenden Einzelkomponenten erfolgt anhand ihrer Massenspektren und ihrem Retentionsindex (RI), welcher durch Co-Chromatographie mit einer homologen Reihe linearer Alkane errechnet wird. Dieser Beitrag soll einerseits dem Leser einen Überblick über den Verlauf der Analyse eines chinolizidinalkaloidhaltigen Pflanzenextraktes aus *Lupinus mutabilis* (Samen) mit Hilfe der Gaschromatographie und Massenspektroskopie (GC-MS) und andererseits auch einen Überblick über das dazu notwendige technische Equipment vermitteln.

Abstract

Due to the growing importance of lupins in agriculture, there is an increasing demand for a simple method for the determination of their toxic alkaloids and other secondary metabolites. The most effective method for alkaloid extraction from plant material is the solid phase extraction method (SPE). For identification and quantification of lupin alkaloids gaschromatography (GLC) coupled with mass spectroscopy (GC-MS) is the fastest

and the most powerful modern analytical method, which allows us also to detect and identify even trace amounts of alkaloids in complex mixtures. This communication is an introduction as to how to analyse lupin alkaloids via gaschromatography (GLC) and mass spectrometry (MS) and sequel to the previous article from C. Meißner and M. Wink „GC-MS-Analysis of North-American-Lupins“, which contained a large variety of mass spectra from lupin alkaloids together with their calculated Kovats indices (RI) [C. Meißner, M. Wink, GC-MS-Analyse von Alkaloiden Nordamerikanischer Lupinen (1992)].

Key Words: Lupin alkaloids; Solid phase extraction; gaschromatography; Retention index; Quantification of alkaloid contents; Mass spectrometry; Identification of alkaloids

Einleitung:

Die Gattung *Lupinus* (Leguminosae) produziert als pflanzliche Sekundärstoffe neben Flavonoiden und Saponinen, hauptsächlich bitter schmeckende, toxische und teilweise sogar teratogen wirkende Alkaloide vom Chinolizidintyp (z.B. Anagrin, Cytisin) oder Bispiperidintyp (z.B. Ammodendrin).

Mit Hilfe der Festphasenextraktionsmethode im Rahmen eines Alkaloidaufarbeitungsganges, lassen sich die in der Pflanze enthaltenen Chinolizidin-Alkaloide (QA) quantitativ extrahieren und anschließend durch Gas-Chromatographie (GC) und Massenspektroskopie (MS) präzise detektieren, identifizieren und quantifizieren. Bei den so gewonnenen Pflanzenextrakten handelt es sich immer um komplexe Vielstoffgemische, so daß zur Analyse zunächst eine chromatographische Auftrennung dieser Stoffgemische in ihre Einzelkomponenten erfolgen muß.

Da es sich bei denen im Extrakt von Lupinen vorkommenden Chinolizidinalkaloiden (QA) um eine Stoffklasse unzersetzt verdampfbarer, organischer Verbindungen handelt, hat sich die zur Analyse notwendige Auftrennung des Stoffgemisches mit Hilfe der Gas-Chromatographie besonders bewährt (Review: Wink, 1993).

Die Kapillarsäulen-Gas-Chromatographie (GLC) zählt zu den modernsten und zugleich effektivsten chromatographischen Verfahren, bei der weniger als 1 mm dicke Quarzkapillaren als Trennsäulen eingesetzt werden. In einer 30 m langen mit einer organischen Phase beschichteten Kapillarsäule erfährt ein Stoffgemisch bis zu 70.000 physikalische Trennoperationen während des Temperaturprogrammes. Die Einzelkomponenten des Stoffgemisches verlassen danach die Kapillarsäule zeitlich versetzt und werden dann von verschiedenen, je nach Einsatzzweck gewählten Detektoren als deutliche und scharf voneinander abgegrenzte Signale (Peaks) registriert.

Am häufigsten verwendete Detektoren sind der FID (Flammen-Ionisations-Detektor),

der zugleich als Universal-Detektor anzusehen ist und der PND, ein spezieller Detektor, der hauptsächlich zur Detektion von stickstoffhaltigen Verbindungen (Alkaloiden) eingesetzt wird. Am meisten Informationen über die Strukturen der untersuchten Moleküle liefert der Massenselektive Detektor (MSD), der auch als „GC-MS“ bezeichnet wird.

Der MSD ist der teuerste aller gaschromatographischer Detektoren. Er liefert aber detaillierte Informationen über die einzelnen Verbindungen eines Gemisches, die zur Identifizierung genutzt werden können.

Die genannten Detektoren zeichnen sich gleichwohl alle durch außerordentlich geringe Nachweisgrenzen aus, so daß Stoffmengen im unteren Nanogramm-bereich (ng) noch ausreichend gut nachgewiesen werden können. Mit Hilfe der kostengünstigen Flammenionisations-Detektoren FID und PND, läßt sich der in einer Probe vorliegende Alkaloidgehalt quantitativ und präzise ermitteln.

Der MSD nimmt von jeder der in der Probe vorliegenden Substanzen Massenspektren auf. Diese Massenspektren enthalten Informationen über die Gesamtmasse eines Moleküls (Molekülion) und über seinen Zerfallsweg (Fragmentierung) nach Elektronenstoß im Hochvakuum. Massenspektren stellen somit Fingerprints von Verbindungen dar, wodurch deren schnelle Identifizierung möglich ist.

Die Identifizierung einer zunächst unbekanntem Verbindung erfolgt durch den computergesteuerten Vergleich ihres aufgenommenen Massenspektrums mit den Massenspektren einer Datenbank. Der Computer wählt dabei Massenspektren aus der Datenbank aus, welche die größtmögliche Übereinstimmung zum selbst aufgenommenen, unbekanntem Massenspektrum zeigen und schlägt diese dann zur Identifizierung des unbekanntem vor.

Durch die routinemäßige Einführung von GC-MS-Systemen in der Naturstoffforschung konnte seit Anfang der 80'er Jahre eine Potenzierung der Anzahl an Ergebnissen und Erkenntnissen hervorgebracht werden.

Was sind Alkaloide ?

Alkaloide sind basische, stickstoffhaltige, meist heterocyclische Verbindungen, bevorzugt pflanzlichen Ursprungs. Der Name Alkaloid (=Alkali ähnlich) wurde durch die auffallende Basizität dieser Verbindungen geprägt. Alkaloide sind im Pflanzenreich außerordentlich weit verbreitet und kommen in ca. 30 % aller Pflanzen vor. Mit bisher weit über 12.000 verschiedenen bekannten Strukturen ist die Gruppe der Alkaloide die größte und zugleich wichtigste Verbindungsklasse an Naturstoffen überhaupt.

In den menschlichen oder tierischen Organismus gebracht, entfalten sie meist schon in Mengen von wenigen Milligramm eine auffallende pharmakologische oder toxikologische Wirkung, da sie primär an Rezeptoren des Zentralnervensystems oder anderen wichtigen molekularen Targets angreifen (Wink, 1993b). Aufgrund ihrer vielseitigen phar-

makologischen Eigenschaften stellt Ihre Erforschung ein interessantes Arbeitsgebiet für Naturwissenschaftler dar (Roberts & Wink, 1998).

Was sind Lupinenalkaloide ?

Die Gattung *Lupinus* produziert sowohl Alkaloide des Chinolizidin-, Piperidin- und seltener auch des Indoltyps. In den Pflanzen liegt eine Mischung von verschiedenen Alkaloiden vor. Dieser „Alkaloidcocktail“ ist für die Fitneß und das Überleben der Pflanze von entscheidender Bedeutung. Er dient neben dem Schutz vor Fraßfeinden, auch als eine Art „Immunsystem“ der Pflanze, womit sie sich gegenüber Mikroorganismen, wie Bakterien und Pilze, aber auch Viren schützen kann (Wink, 1992, 1993a,b). Während der Keimungs- und Entwicklungsphase kann auch das Wachstum verschiedener anderer konkurrierender Pflanzen durch Alkaloidausschüttung gehemmt werden. Alkaloide zeigen somit ebenfalls eine „allelopathische Wirkung“. Die schützende Wirkung der Alkaloide läßt sich besonders gut im Vergleich der alkaloidreichen Bitterlupinen zu den nahezu alkaloidfreien Süßlupinen beobachten; letztere sind besonders anfällig gegenüber Fraß durch Insekten und Vertebraten, aber auch gegenüber pilzlichen Infektionen (Wink, 1988, 1992, 1993a,b).

Eine Verwendung der Lupine und den daraus hergestellten Nahrungsmitteln zur Ernährung von Menschen und Tieren, setzt umfassende Kenntnisse über die Zusammensetzungen und die Mengen, der darin enthaltenen für uns schädlichen Alkaloide voraus.

In Tabelle 1 ist die Komplexität illustriert, mit der wir bei diesen Analysen konfrontiert werden, am Beispiel eines Alkaloidcocktails, wie er in den Samen von *Lupinus campestris* und *Lupinus mutabilis* vorliegt.

Chemische Strukturen der Lupinenalkaloide:

Lupinenalkaloide werden chemisch den Chinolizidin- und Piperidinalkaloiden zugeordnet. Es kommen jedoch auch Alkaloide des Indoltyps vor (Abb. 1)

Material und Methoden

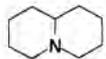
Eine definierte Mengen des zu untersuchenden Pflanzenmaterials wird zunächst durch Mörsern oder Mahlen zerkleinert und anschließend mit 0.5 N Salzsäure versetzt. Nach Homogenisieren im Mörser oder auch durch einfaches Stehen über Nacht gehen die im Pflanzenmaterial enthaltenen Alkaloide in Form ihrer Hydrochloride in die wässrige Phase über. Nach Zentrifugation oder Filtration wird eine klare, wässrige Lösung der Alkaloidhydrochloride erhalten. Nach Versetzen der wässrigen Lösung mit starken Basen, wie konz. Ammoniaklösung oder Natronlauge, werden die Alkaloidhydrochloride deprotoniert, so daß sie nun als Emulsion in Form ihrer lipophilen freien Basen in der wässrigen Phase vorliegen.

Tab. 1: Zusammensetzung des Alkaloidgemisches aus Samen von *Lupinus mutabilis* (L.m.) und *Lupinus campestris* (L.c.).

Die Ermittlung erfolgte durch **GC-MS-Analyse**; Konzentrationen an Alkaloid in zunehmender Menge: --, -, +, ++, +++

RI	Alkaloid	L.c.	L.m.
1628	Gramin	-	
1785	Sparteïn		++
1810	Dehydrosparteïn		--
2050	Tetrahydrohombifolin		+
2077	Epiaphyllin	--	
2122	α -Isolupanin	-	
2131	Dehydrolupanin	-	-
2138	Hydroxy-tetrahydrohomb.		-
2165	Lupanin		+++
2170	Iso-Multiflorin		-
2200	Aphyllin	+	
2237	Didehydrodihydroxylupanin	--	
2255	Hydroxylupanin	+++	
2261	Didehydrolupanin	+++	
2302	Didehydrohydroxylupanin	+++	
2310	Multiflorin		--
2345	17-Oxolupanin		+
2374	Dihydroxylupanin	--	
2402	13-Hydroxylupanin		+
2409	Hydroxylupanin	+	
2447	Dehydrohydroxylupanin	++	
2456	Hydroxylupanin	-	
2571	Dihydroxysparteïn	--	
2636	Dihydroxylupanin	-	
2733	13-Angeloyloxylupanin		+
2867	4-Tigloyloxylupanin		--

Stammverbindungen:

Octahydrochinolin
Chinolizidin

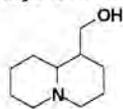
Piperidin



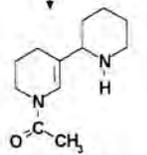
Indol

1. Bicyclische Chinolizidinalkaloide

= Bicyclische QA

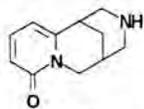


Lupinin



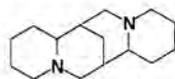
Ammodendrin

2. Tricyclische QA

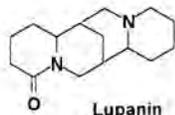


Cytisin

3. Tetracyclische QA



Spartein



Lupanin

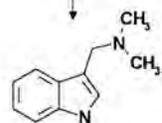
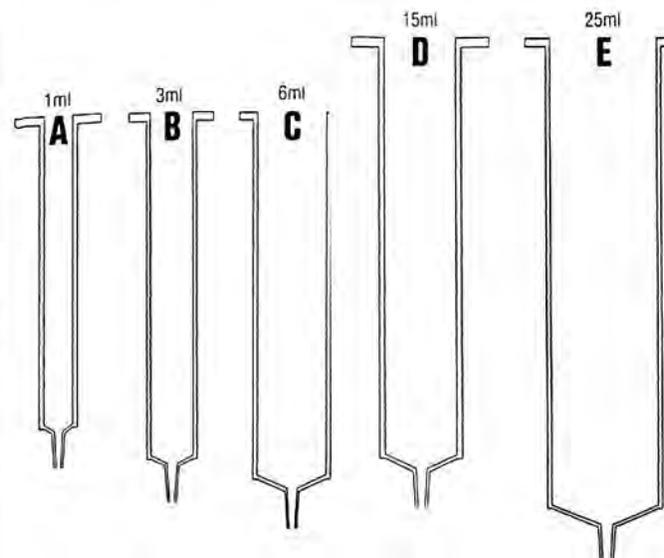
Gramin
ein Protoalkaloid

Abb. 1. Chemische Strukturen der Lupinenalkaloide

Die freien Basen der Alkaloide können mit lipophilen organischen Lösungsmitteln aus der wässrigen Phase extrahiert werden. Zur quantitativen Extraktion der Alkaloide aus der wässrigen Phase hat sich die Methode der Festphasenextraktion (SPE = Solid Phase Extraction) besonders bewährt. Dabei handelt es sich um eine schnelle und zugleich auch präzise analytische Methode. Die wässrige, alkalische Alkaloidemulsion wird in eine Glasröhre, in der sich ein für Wasser geeignetes Adsorbentmaterial (Extrelut®; Isolute®) befindet, gegeben. Nach vollständiger Adsorption des Wassers durch das Adsorbens können die lipophilen freien Basen der Alkaloide mit lipophilen organischen Lösungsmitteln (Dichlormethan, Chloroform oder Ethylacetat) vom Adsorbentmaterial eluiert werden.

Die Festphasenextraktion garantiert ein schnelles und nahezu verlustfreies Arbeiten mit hohen Wiederfindungsraten (<99%) des Analyten. Weitere Vorteile sind ein geringer Verbrauch an teureren, organischen und schwer zu entsorgenden Lösungsmitteln sowie die Vermeidung der Bildung von Emulsionen, die häufig bei der Verwendung von Scheidetrichtern zur Extraktion auftreten. Ebenso ist durch eine Verwendung von standardisierten Adsorbentkartuschen eine problemlose Validierung dieser Extraktionsmethode möglich. Der schematische Aufbau einer Alkaloidextraktion mittels Festphasenextraktion ist in Abb. 2 dargestellt.

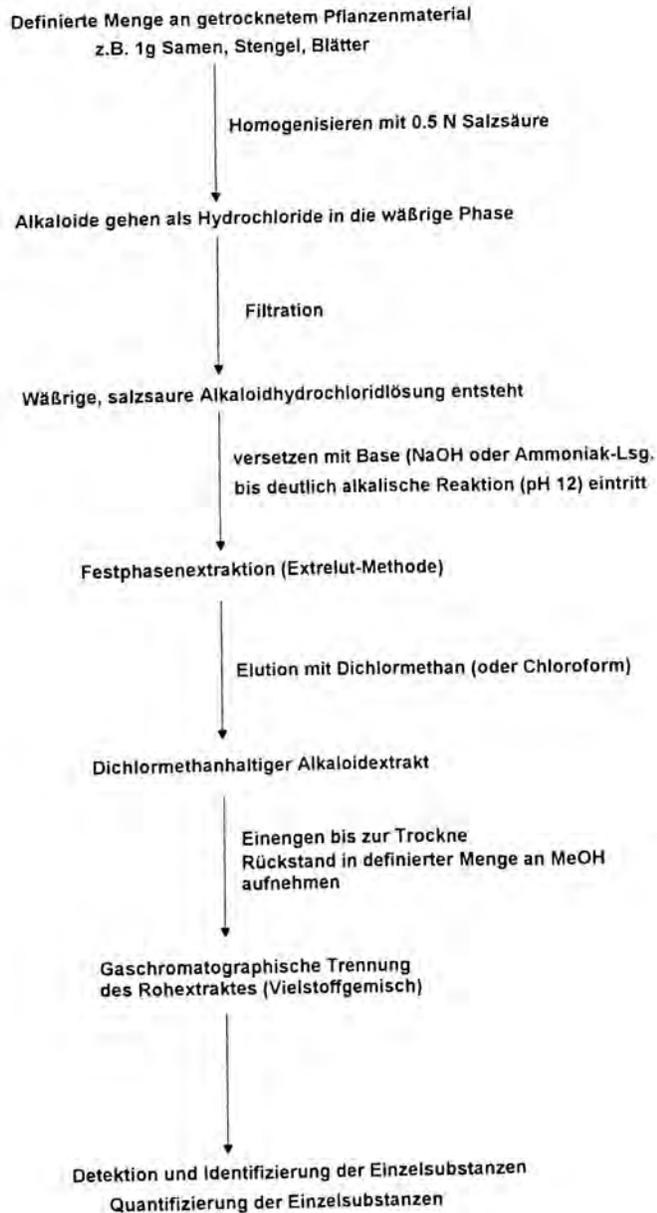


Die hier abgebildeten Längsschnitte der verschiedenen SPE-Säulen und Reservoirs sind in der Originalgröße wiedergegeben. Um Ihnen die Identifikation einer Reservoirgröße zu erleichtern, ist jede Säulendimension mit einem Kennbuchstaben versehen. Der Buchstabe, der jeder Bestellnummer der Fertigsäulen nachgestellt ist, gibt die Dimension der verwendeten Säule an. Die Säule mit der Bestell-Nummer 221-0010-A ist somit eine Säule mit der Säulengeometrie A usw.

Die zusätzlich angeführten Volumina entsprechen jenen der leeren Kunststoffsäulen.

Abb. 2. Aufbau und Geometrie der SPE-Säulen

Schematischer Ablauf einer Analyse von Lupinenalkaloiden



Gaschromatographische Trennung des Lupinenalkaloidextraktes:

Die Gaschromatographie nimmt bei der Analytik der Lupinenalkaloide, eine zentrale Stellung ein, gemäß des Zitates:

„Wo wir trennen können, können wir analysieren“ (Kelker 1985)

Chromatographische Methoden sind **physikalische Methoden** zur Trennung eines Stoffgemisches, die auf der **unterschiedlichen Löslichkeit** der Gemischkomponenten in zwei Phasen beruhen (z.B: wässrige oder organische Phase) (R. Herb, *Chromatographie in der Gasphase*, 1985).

Historisches:

1903: Der russische Biochemiker und Botaniker **Tswett** war erstmals in der Lage, den Blattfarbstoff in Chlorophyll A und B in Karotin und in Xanthophyll durch Säulenchromatographie zu trennen.

Aus der Tatsache, daß am Anfang nur Farbstoffgemische getrennt wurden, leitete sich der Name dieser Trennmethode her.

chroma = Farbe; graphein = schreiben

1952: A. T. **James** und A. J. P. **Martin** bauten den ersten Gaschromatographen

Sie verdampften das zu trennende Substanzgemisch und leiteten die Dämpfe in ein Trennrohr, auf dessen Innenwand sich ein dünner Film eines hochsiedenden Silikonöles als Trennflüssigkeit befand.

Aufgrund der unterschiedlichen Löslichkeiten der Einzelsubstanzen dieses Gemisches in dem Silikonölfilm erfolgte die Trennung.

Substanzen, die sich in der Trennflüssigkeit besser lösen, verweilen insgesamt länger in der Trennsäule als in der Trennflüssigkeit schlechter lösliche Substanzen.

Funktionsprinzip:

Eine definierte Menge (z. B. 1 µl) einer Probenlösung wird mit Hilfe einer Mikroliterspritze in den 250-300°C heißen Injektor gespritzt (Abb. 3) und verdampft dort schlagartig (Flashverdampfung). Die entstandene Dampf Wolke wird durch einen kontinuierlich fließenden Trägergasstrom (Carrier: Inertgas He oder H₂) in die sich nach dem Injektor angebrachte Kapillarsäule gespült. Die Kapillarsäule ist eine mehrere Meter lange Quarzglas Kapillare, deren Innenwand mit einem dünnen Film eines hochsiedenden Silikonöles benetzt ist. Die mit Hilfe der Dampf Wolke als Aerosol in die Säule transportierten Substanzen kondensieren dort aus und lösen sich schließlich in dem Trennflüssigkeitsfilm (stationäre flüssige Phase).

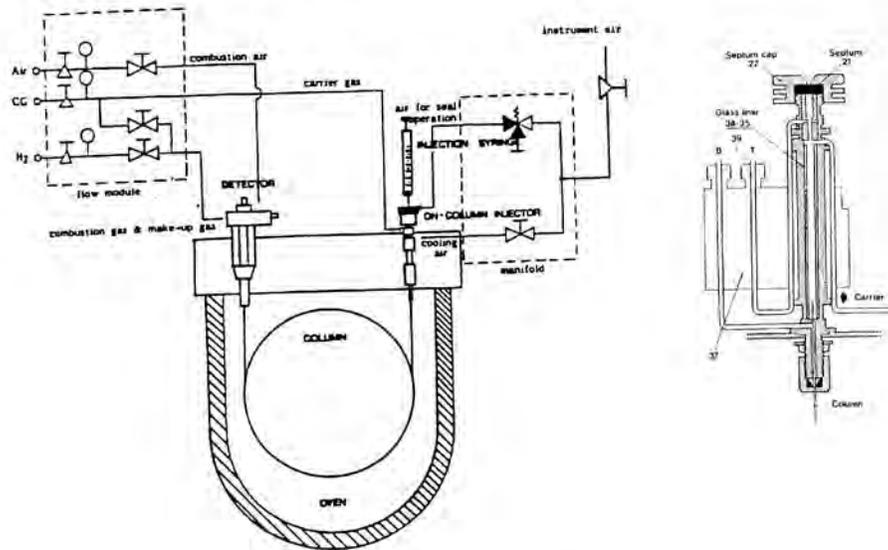


Abb. 3. Schema eines Gaschromatographen

Je nach Affinität der Substanzen zur stationären Phase, verweilen diese kürzer oder länger in ihr und verlassen deshalb die Kapillarsäule zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Beim Verlassen der Säule werden die Substanzen von einem Detektor als elektrische Signale detektiert. Die vom Detektor erzeugten elektrischen Signale werden einem Schreiber zugeführt, der das Gaschromatogramm aufzeichnet (Rücker et al., 1992).

In der instrumentellen Analytik häufig verwendete Kapillarsäulen sind zwischen 15- und 60 m lang und haben einen Innendurchmesser von 0,18 mm bis 0,53 mm. Die Filmdicke der stationären Phasen kann zwischen 0,1- und 7 µm betragen. Je mehr stationäre Phase sich auf der Säuleninnenwand befindet, umso größer werden die trennbaren Substanzmengen bis es zu einer Überladung der Säulenkapazität kommt.

Eine Überladung der Säulenkapazität macht sich durch eine unsymmetrische Signalform (leading oder tailing) bemerkbar. Die theoretische Trennstufenzahl und die damit verbundene Auflösung nimmt bei Verwendung von Säulen mit größerer Filmdicke ab, die Retentionszeiten verlängern sich. Die Wahl der Trennsäule stellt somit einen Kompromiß zu dem jeweiligen chromatographischen Trennproblem dar.

Zur gaschromatographischen Trennung von Lupinenalkaloiden bei Benutzung eines

FID oder PND, hat sich eine Säulenlänge von 15 m bei einem Innendurchmesser von 0,25 mm und 0,25 µm Filmdicke bewährt. Zur Erzielung ähnlich guter Ergebnisse in Verbindung mit einem MSD, sollte man die doppelte Säulenlänge bei sonst gleichen Säulendimensionen wählen.

Das Temperaturprogramm

Chromatographische Methoden sind Trennmethode, bei denen die unterschiedliche Verteilung der Gemischkomponenten in zwei Phasen ausgenutzt wird. In der Kapillarsäulen-Gaschromatographie, auch als GLC (Gas-Liquid-Chromatographie) bezeichnet, ist eine der beiden Phasen gasförmig, die andere hingegen flüssig.

Substanzen, die sich sehr gut in der flüssigen Phase lösen, verweilen folglich länger in der Kapillarsäule als weniger gut lösliche Verbindungen. Eine physikalische Größe, die dieses Löslichkeitsphänomen beschreibt, ist der **Verteilungskoeffizient** α . Er ist definiert als:

$$\alpha = \frac{C_1}{C_2}$$

C_1 = Konzentration des Stoffes in Phase 1 (Gasphase)
 C_2 = Konzentration des Stoffes in Phase 2 (Trennflüssigkeit)

Der **Verteilungskoeffizient** α ist jedoch eine sehr stark temperaturabhängige Größe. Die Löslichkeit eines Stoffes in der flüssigen Phase nimmt mit ansteigender Temperatur stark ab, während dadurch seine Konzentration in der Gasphase zunimmt (ausgasen!). Gaschromatographische Trennungen sind folglich stark von Temperaturänderungen zu beeinflussen.

Je niedriger die Temperatur des GC-Ofens, desto länger verweilt die Substanz auf der Trennsäule, desto weiter sind die Peakmaxima voneinander entfernt. Da jedoch mit der Analysenzeit auch die Peakbreite zunimmt, bedeutet eine längere Verweildauer auf der Trennsäule nicht unbedingt eine verbesserte Trennung. Die optimale Temperatur stellt somit erneut einen Kompromiß zwischen akzeptablen Analysenzeiten und vertretbarem Verlust an Auflösung dar. Bei der **Chromatographie komplexer Gemische mit einem großen Flüchtigkeitsbereich ist eine Trennung bei konstanter Temperatur (isotherm) meistens nicht möglich**. In diesem Fall **verwendet man Temperaturprogramme**, bei denen der Säulenofen mit festgelegten Heizraten kontinuierlich aufgeheizt wird (Abb. 4). Bei der Trennung eines Lupinenalkaloidgemisches mit einer 15 m langen Kapillarsäule hat sich folgender Temperaturzyklus bewährt:

- 120°C Start - 2 min isotherm - Aufheizung 10°C / min bis 300°C - 10 min isotherm - Abkühlen auf Starttemperatur.

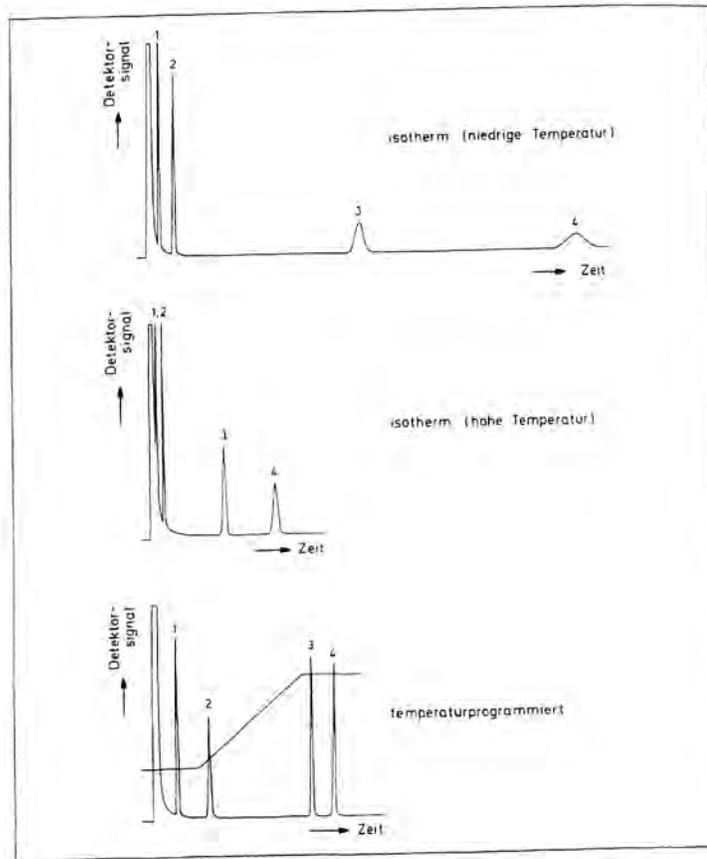


Abb. 4: Temperaturabhängigkeit der gaschromatographischen Trennung

Eine Modifikation des Heizprogrammes zur Anpassung an das entsprechende Trennproblem sollte vom jeweiligen Analytiker selbst durchgeführt werden. Eine optimale gaschromatographische Trennung des Substanzgemisches findet erst im untersten der abgebildeten Chromatogramme (Abb. 4) statt, bei dem ein Temperaturprogramm benutzt wurde. Bei modernen mikroprozessorgesteuerten Geräten, können auch mehrstufige Temperaturprogramme ausgeführt werden, bei denen isotherme Phasen und Aufheizphasen beliebig kombiniert werden können.

Das Gaschromatogramm:

Das Gaschromatogramm stellt das chronologische Protokoll einer Trennung von Substanzen in der Gasphase dar. Es liefert zwei wichtige Informationen:

1) Retentionszeit

Als Retentionszeit wird die Zeit bezeichnet, die eine Substanz vom Einspritzen bis zum Verlassen der Trennsäule benötigt. Sie ist eine relative Größe und hängt von vielen Parametern ab, wie Länge und Polarität der verwendeten Säule, Filmdicke der stationären Phase, Trägergasstrom, Art des verwendeten Trägergases und dem zur Trennung gewählten Temperaturprogramm.

2) Signalfläche (Peakfläche)

Die Fläche unter der Signalkurve ist proportional zur eingespritzten Substanzmenge, dadurch kann eine Quantifizierung einer unbekanntes Substanzmenge in Bezug auf eine Kalibrierungssubstanz (als Standard bezeichnet) erfolgen. Dabei ist jedoch zu beachten, daß unterschiedliche Verbindungen auch unterschiedlich starke Detektorsignale ergeben, weshalb zuerst die Ermittlung sogenannter **Responsefaktoren** notwendig ist, wenn man die Konzentration einer unbekanntes Substanzmenge mit Hilfe einer anderen, mit ihr nicht identischen Kalibrierungssubstanz berechnen will.

Deutlich erkennbar ist, daß es sich bei dem verwendeten Alkaloidextrakt um ein Vielstoffgemisch handelt (Abb. 6). Mit Hilfe des zur Kalibrierung angefertigten Gaschromatogrammes des „Lupanin-Standards“, läßt sich die unbekanntes Menge an Lupanin in der vorliegenden Lupinenprobe berechnen. Die Peakfläche des Standardsignals (Abb. 5) beträgt 134.818 Flächeneinheiten, entsprechend einer Menge von 210 ng / µl Lupanin. Das Lupaninsignal in der Lupinenprobe beträgt 2.360.144 Flächeneinheiten, wodurch sich eine mit Hilfe des Dreisatzes berechnete Menge von 3.676 ng / µl Lupanin ergibt. Bei bekannter Verdünnung der Probenlösung (4 ml) und bekannter eingewogener Menge an Pflanzenmaterial (0.5 g) von *Lupinus mutabilis* (Samen), errechnet sich eine Gesamtmenge von 29.4 mg Lupanin pro Gramm Pflanzenmaterial. Da es sich dabei um getrocknetes Pflanzenmaterial handelt, liegt der relative Alkaloidgehalt um etwa einen Faktor 10 höher als in frischem, wasserhaltigem Pflanzenmaterial.

Der Retentionsindex

Mit zunehmender Verbreitung der Gaschromatographie wurde das Bedürfnis geltend gemacht, die relative Größe Retentionszeit reproduzierbarer zu machen. Es wurde nach einer Größe gesucht, die unabhängiger von den vielen Parametern ist, von denen die Retentionszeit abhängt. Kovats führte 1958 den Begriff des Retentionsindex ein. Er ordnete willkürlich einer homologen Reihe von n-Alkanen Zahlen zu, die dem 100-fachen Wert ihrer Kohlenstoffatomzahl entsprachen und nannte diesen Wert **Retentionsindex** (Kovats, 1958).

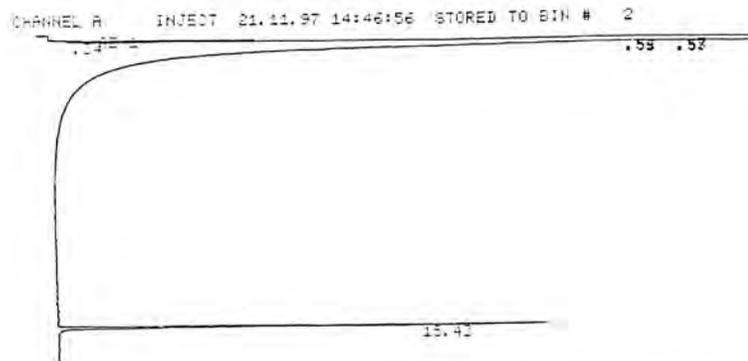


Abb. 5. Gaschromatogramm von 210 ng Lupanin zur Kalibrierung

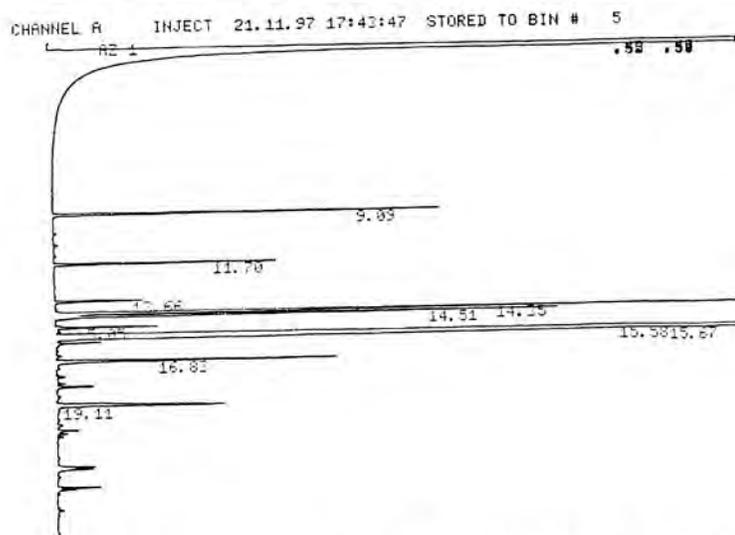


Abb. 6. Gaschromatogramm eines Alkaloidextraktes von *Lupinus mutabilis* (Samen)

Das Signal von Lupanin in der Probe von *Lupinus mutabilis* weist eine geringfügig größere Retentionszeit, als die des Standards auf. Dies ist auf eine Unsymmetrie des Signals in der Probe von *Lupinus mutabilis*, wegen Überladung der Trennkapazität der Säule zurückzuführen.

Das n-Alkan **Hexadecan** mit 16 Kohlenstoffatomen hat somit einen Retentionsindex von **RI = 1600**, während das n-Alkan **Eicosan** mit 20 Kohlenstoffatomen einen Retentionsindex von **RI = 2000** erhält. Durch **lineare Interpolation** zwischen den in periodischer Abfolge im Gaschromatogramm erscheinenden n-Alkansignalen, kann der Retentionsindex der dazwischenliegenden Substanzen berechnet werden. Er ist das **wichtigste Hilfsmittel zur Identifizierung von Lupinenalkaloiden im Gaschromatogramm**, da er unabhängig vom verwendeten Heizprogramm, dem Trägergasstrom und der Säulenlänge ist. Zu beachten ist lediglich seine Abhängigkeit von der Polaritätsstufe der verwendeten Trennsäule. Während Lupanin auf einer Säule mit der Polaritätsstufe DB 1 einen Retentionsindex von 2165 aufweist, erhöht sich dieser Wert bei der Verwendung einer Säule der Polaritätsstufe OV 1 auf 2177. (Anmerkung: „OV 1 ist geringfügig polarer als DB 1“).

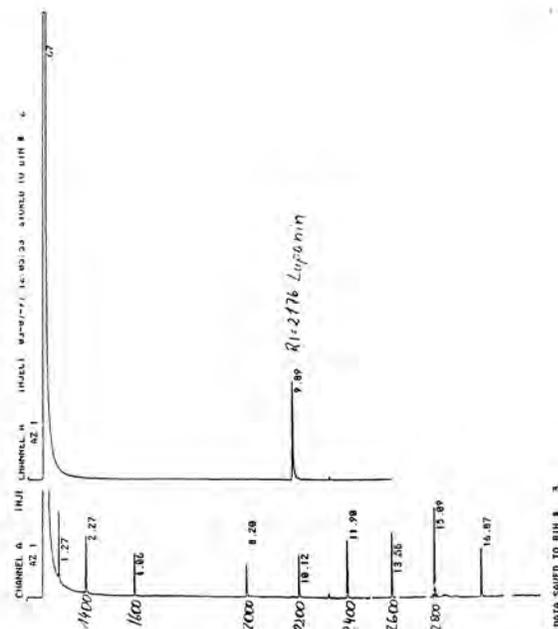
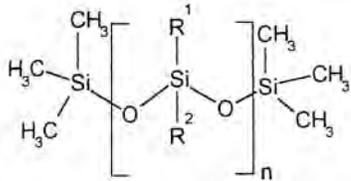


Abb. 7. Chromatogramme der Standard n-Alkane und von Lupanin

Berechnung des Retentionsindex durch lineare Interpolation zwischen den n-Alkansignalen (möglich z. B. mit Dreisatz oder graphisch) (Witte et al., 1993):

Aufbau der stationären Phase (Trennflüssigkeit)

Die Innenwand der Kapillarsäule ist mit einem dünnen Film **extrem hochsiedender Silikonöle** benetzt, die sich alle vom gleichen **Polysiloxangerüst** ableiten.

**Aufbau des Polysiloxangerüsts**

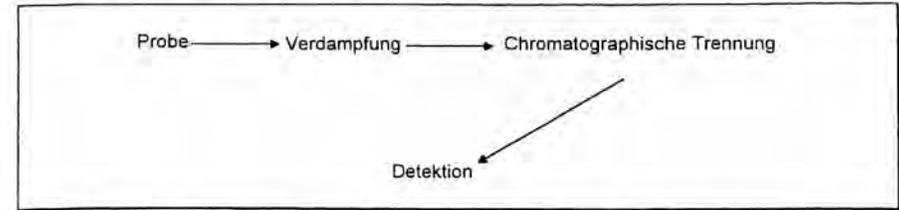
Bei den handelsüblichen Kapillarsäulen sind folgende Polaritätsabstufungen erhältlich (R bezieht sich auf die Reste des oben abgebildeten Polysiloxangerüsts). Die Typenbezeichnungen der stationären Phasen sich nach dem jeweiligen Hersteller. z.B. DB® (Durabond®) = Bezeichnung vom Hersteller J & W; OV® = Bezeichnung vom Hersteller OHIO VALLEY Laboratories

Polarität nimmt zu ↓	DB-1; OV-1; SE-30; SP-2100 (R = Methyl)
	DB-5; SE-54 (R = 5% Phenyl; 95% Methyl)
	DB-17; OV-17 (R = 50% Phenyl; 50% Methyl)
	DB-210; OV-210 (R = 50% Trifluoropropyl; 50% Methyl)
	DB-225; OV-225 (R = 50% Cyanopropylmethyl; 50% Phenylmethyl)
	DB-1701; OV-1701 (R = 14% Cyanopropylphenyl; 86% Methyl)
	DB-WAX; Carbowax 20-M (Polyethylenglycol)

Diese Phasen werden auch als „Non-Extractable, Cross-Linked and Surface-Bonded-Phases“ bezeichnet, da die Trennflüssigkeiten chemisch an die Silanolgruppen der Oberfläche der Kapillarenwand gebunden sind, wodurch sogar ein Ausspülen verschmutzter Kapillarsäulen mit organischen Lösungsmitteln möglich ist. Zur Analytik von Lupinenalkaloiden haben sich besonders die **Polaritätsstufen DB 1 und OV 1**, die als universell einsetzbar gelten, bewährt. Beim Auftreten von starkem Tailing der Signale (*Anmerkung: „häufig bei Albin beobachtet“*), kann auch eine Säule mit der Polaritätsstufe **DB 5** verwendet werden. Dabei ist jedoch zu beachten, daß es zu einer Änderung der in der Literatur angegebenen Retentionsindices für Lupinenalkaloide kommt, wodurch eine Identifizierung der Substanzen im Gaschromatogramm oft erschwert wird. Die Wahl der Polaritätsstufe der stationären Phase richtet sich nach dem jeweiligen Trennproblem.

Gaschromatographische Detektoren

Schematischer Analysenverlauf:



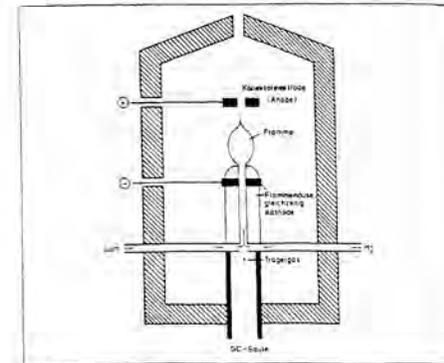
Nach der gaschromatographischen Trennung des Stoffgemisches, werden die Einzelsubstanzen detektiert und als elektrische Signale einem elektrischen Schreiber zugeführt, der das Gaschromatogramm aufzeichnet. In der Gaschromatographie häufig verwendete Detektoren sind:

Wärmeleitfähigkeitsdetektor:

Er arbeitet für die Probe zerstörungsfrei und wird deshalb häufig bei der Gaschromatographie in präparativem Maßstab, in Verbindung mit gepackten Säulen, eingesetzt. Er ist jedoch für analytische Zwecke aufgrund seiner Unempfindlichkeit gegenüber den dort üblichen geringen Substanzmengen im Nanogrammbereich wenig geeignet.

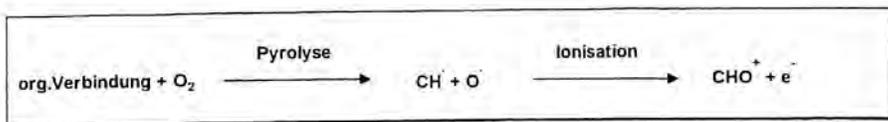
FID (Flammen-Ionisations-Detektor)

Der FID ist für analytische Zwecke der am meisten eingesetzte gaschromatographische Detektor. Er zeichnet sich durch einen günstigen Anschaffungspreis, durch eine leichte Handhabung sowie eine geringe Nachweisgrenze und einen breiten nutzbaren Arbeitsbereich aus. Die Nachweisgrenze liegt bei 10^{-12} g/s, die Sättigungsgrenze bei 10^{-4} g/s, wodurch sich für den FID einen nutzbaren Arbeitsbereich von 8 Zehnerpotenzen ergibt.

**Abb. 8: Schema eines FID**

Funktionsprinzip des FID

Am Ende der Kapillarsäule befindet sich eine Düse, in die durch zwei seitliche Bohrungen Wasserstoff und Luft geleitet wird. Oberhalb der Düse brennt eine Wasserstoffflamme. Werden nun Substanzen von der Kapillarsäule eluiert, so gelangen diese in die Wasserstoffflamme. Beim Durchschreiten der Flamme werden Substanzen, die oxidierbare Kohlenstoffatome enthalten pyrolysiert. Die durch Pyrolyse entstandenen Radikale werden durch ein sich oberhalb der Düse befindliches elektrisches Feld von ca. 300 V ionisiert. Durch anschließende Messung des fließenden Ionenstroms zwischen zwei Elektroden und Verstärkung der elektrischen Signale, ergibt sich das Messsignal in Millivolt, welches nun dem Schreiber zugeführt wird.



Der **Response** des FID's hängt stark von der jeweiligen Struktur, der Anzahl der Kohlenstoffatome und dem Gehalt an Heteroatome der detektierten Verbindungen ab. Sie stellen somit wichtige, die Ionenbildung bestimmende Parameter dar. Bei der Bestimmung der Konzentrationen verschiedener in der Probe enthaltener Verbindungen, bezogen auf das Kalibrierungssignal einer bestimmten Verbindung (Standards), benötigt man deshalb Kenntnisse der sog. **Responsefaktoren** der jeweiligen Verbindungen am FID.

PND (Phosphor-Stickstoff sensitiver Detektor)

Die Funktionsweise des PND, ist der des FID sehr ähnlich. Der PND ist jedoch für Verbindungen, die weder Stickstoff- noch Phosphoratome enthalten „blind“. Auch hier brennt am Säulenende über der Detektor-Düse eine Wasserstoffflamme. Direkt über dem Düsenausgang befindet sich aber innerhalb dieser Flamme eine kleine Alkalisalzperle, die die Ionenbildung an Molekülen ohne Stickstoff- oder Phosphor-Heteroatome unterdrücken kann. Es werden oftmals nur die Signale der Alkaloide im Chromatogramm sichtbar, während andere Verbindungen wie Fette und Wachse, unsichtbar bleiben. Nachteile des PND gegenüber des FID sind oftmals die kompliziertere Handhabung, die um zwei Zehnerpotenzen schlechtere Nachweisgrenze, die beim PND im mittleren Nanogrammbe- reich liegt und der relativ kleine, nur drei Zehnerpotenzen umfassende Wirkungsbereich, bis zum Erreichen der Sättigungsgrenze.

MSD (Massenselektiver Detektor oder Massenspektrometer)

In direkter Kopplung an einen Gaschromatographen wird dieser Detektor meist mit dem Begriff „GC-MS“ bezeichnet. Er liefert Informationen zur Identifizierung der im Gaschromatogramm vorliegenden Verbindungen. Trotz der hohen Anschaffungskosten (ca

100.000,-DM aufwärts) ist er in der instrumentellen Analytik unentbehrlich. Er hat eine geringfügig schlechtere Nachweisgrenze als der FID, die im unteren Nanogrammbe- reich (10^{-9} g) liegt (Full-Scan-Mode). Spuren von Verbindungen in einer Probe lassen sich jedoch durch besondere Einstellungen des Detektors (MID-Mode) noch bis in den Pico- grammbereich hinein gut nachweisen. Er registriert neben dem Ionenstrom (RIC), analog zum FID, zusätzlich auch die Massenspektren jeder einzelnen Verbindung in der Probe.

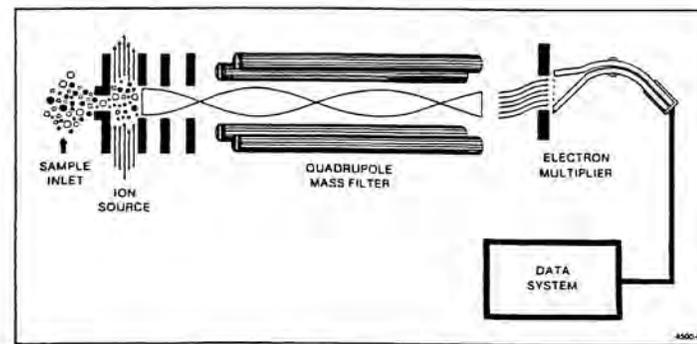


Abb. 9: Aufbau eines MSD (am Beispiel eines Quadrupol Massenspektrometers)
(Finnigan MAT, 4000 / 4500 Series Automated GC / MS, Service Manual 1985)

Die von der Kapillarsäule eluierten Substanzen gelangen direkt in das „Ion volume“ der Ionenquelle. Dort werden sie im Hochvakuum (10^{-6} mbar) von einem Elektronenstrahl mit der Ionisierungsenergie von 70 eV beschossen. Durch diesen Elektronenstoß (Electron Impact oder EI) werden Elektronen aus der Elektronenhülle der Atome der Verbindungen herausgeschlagen. Ist das Molekül nach Elektronenverlust noch in seiner Struktur intakt, so wird es als Molekülion (Radikalkation) im Massenspektrum sichtbar. Durch den starken Elektronenstoß kommt es aber meist zum Zerfall des Molekülions in kleinere Bruchstücke (Fragmentationen). Diese Fragmentierung läuft nach chemischen Regeln reproduzierbar ab (Gasphasenchemie) und ergibt schließlich einen Fingerprint der Verbindung. Die in der Ionenquelle entstandenen Molekül- und Fragmentationen einer Verbindung werden durch elektrostatische Linsen zu einem scharfen Ionenstrahl fokussiert, der die Ionenquelle in Richtung des Quadrupol-Massenfilters verläßt. Innerhalb des

Quadrupolstabsystems befindet sich ein elektrisches Hochfrequenz-Wechselstromfeld, welches die hineingelangten Ionen zunächst zurückhält. Durch gleichzeitige Überlagerung des Hochfrequenz-Wechselstromfeldes mit einer Sägezahn-Gleichspannung, werden die im Quadrupolfeld zurückgehaltenen Ionen beim Erreichen eines bestimmten, aufgrund ihres m/z - (Masse / Ladungs)-Verhältnisses zu ihrer Beschleunigung erforderlichen Sägezahnspannungswertes, durch das Quadrupolfeld hindurchbeschleunigt und gelangen anschließend zu dem Electron Multiplier (EM oder SEV = Sekundärelektronenvervielfacher). Am EM angelangt, erzeugen die Ionen elektrische Signale, welche nach Verstärkung als Signale in Millivolt einem Schreiber oder einem elektronischen Datensystem zugeführt werden. Das Durchlaufen einer solchen Sägezahnspannungsrampe bezeichnet man als „scan“. Die Scanzeit bei Kopplung des Massenspektrometers mit dem Gaschromatographen wird für Quantifizierungen auf 0.5 s und für qualitative Analysen auf 1.0 s pro massenspektrometrischer Dekade, d. h. von 50-500 Masseneinheiten, eingestellt.

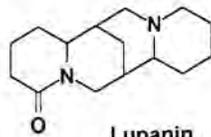
Ergebnisse:

Welche Informationen erhält man vom MSD ?

- 1) Ein durch den gemessenen Ionenstrom entstandenes Gaschromatogramm (Abb. 10)
- 2) Die Flächen unter den Signalkurven des Gaschromatogrammes, mit denen eine Quantifizierung der Substanzmengen möglich ist.
- 3) Der zur gaschromatographischen Identifizierung der Substanzen notwendige Retentionsindex, berechnet nach Co-Chromatographie mit einer homologen Reihe linearer Alkane.
- 4) Das reproduzierbare und zur endgültigen Identifizierung der Verbindung dienende Massenspektrum, welches durch den Zerfall der Verbindung nach Elektronenstoß im Vakuum entsteht (Abb. 11).

Massenspektrum von Lupanin:

Die im Gaschromatogramm erscheinende Verbindung mit der Scannummer 971 besitzt das folgende Massenspektrum:



Lupanin
 $C_{15}H_{24}N_2O$
 $M = 248$

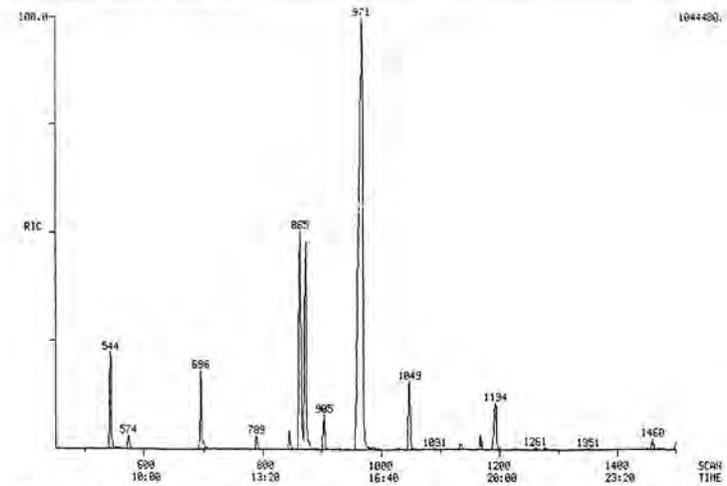
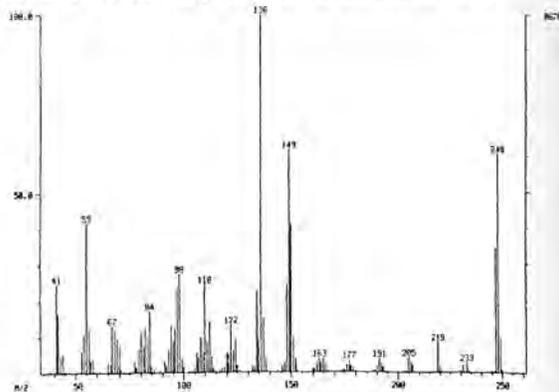


Abb. 10: Gaschromatogramm von *Lupinus mutabilis* (Samen) entstanden durch den vom MSD gemessenen Ionenstrom (RIC = Reconstructed Ion Current)

Welche Informationen liefert das Massenspektrum?

Am Beispiel des Lupanins soll der Zerfall des Moleküls nach Elektronenstoß verdeutlicht werden. Die Fragmentierungsschritte laufen nicht willkürlich sondern nach chemischen Regeln (α -Spaltungen, Mc-Lafferty-Umlagerungen, Retro-Diels-Alder-Reaktionen usw.) ab, durch deren Deutung der Chemiker Aussagen über die Strukturen des Moleküle treffen kann.

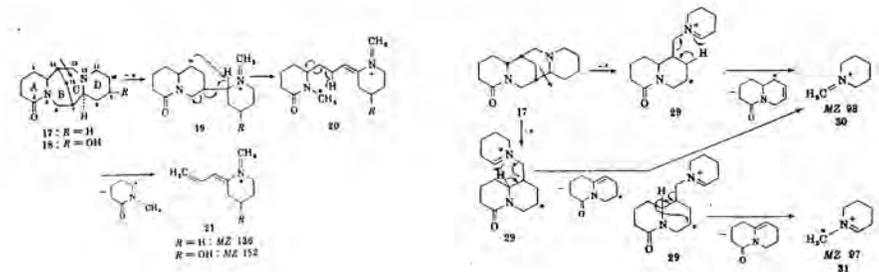


Abb. 11: Zerfall von Lupanin nach Elektronenstoß (EI) (Schumann et al., Schlüsselbruchstücke v. Alkaloiden, 1968)

Praktische Anwendung und dadurch weite Verbreitung in der instrumentellen Analytik hat die Massenspektroskopie durch den Einsatz von elektronischen Datenbanken gefunden, in denen Referenzspektren strukturbekannter Verbindungen vorliegen. Das Datensystem des Massenspektrometers vergleicht innerhalb von wenigen Sekunden das aufgenommene Massenspektrum mit den Massenspektren einer Datenbank und schlägt dann die Spektren der Datenbank mit der größten Übereinstimmung zum Unbekannten als Lösungen vor (Abb. 12). Kommerziell erhältliche Datenbanken beinhalten heute schon mehr als 200.000 Referenzmassenspektren, wodurch die Identifizierung unbekannter Verbindungen stark erleichtert wird.

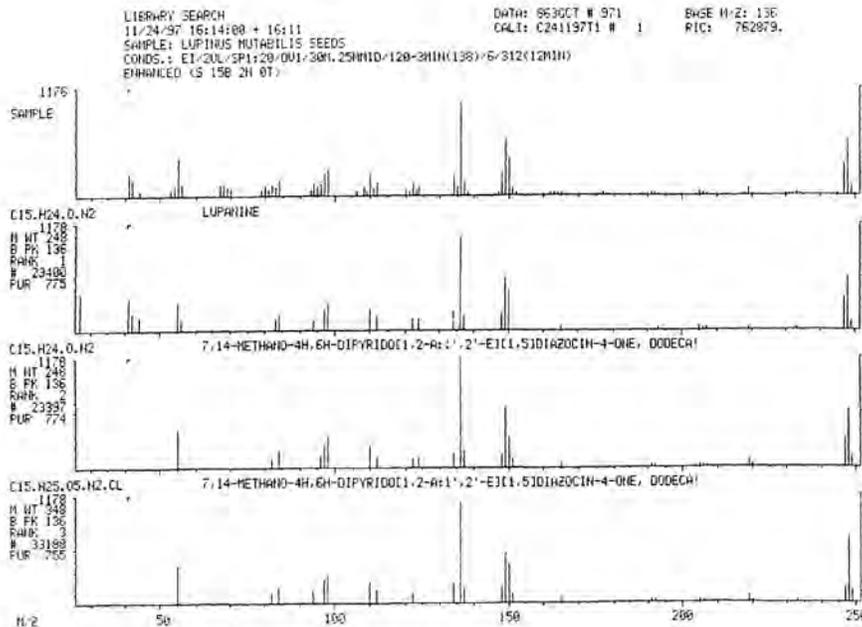


Abb. 12: Ein vom Datensystem INCOS durchgeführter Datenbankvergleich des Massenspektrums mit der Scannummer 971 im Gaschromatogramm von *Lupinus mutabilis* (Samen)

Als wichtigste Lösungsvorschläge zur Identifizierung des Massenspektrums 971 wurden vom Computer Lupanin und ein weiteres Stereoisomeres des Lupanins vorgeschlagen. Zusammen mit dem durch Co-Chromatographie von linearen Alkanen ermittelten Retentionsindex, der auf einer Kapillarsäule mit der Polaritätsstufe OV 1 den Wert 2177 hat, kann die eindeutige Identifizierung des Signales 971 im Gaschromatogramm als Lupanin erfolgen.

Diskussion

Die GC-MS-Analytik hat sich seit Beginn der 80'er Jahre zu einem unentbehrlichen Bestandteil der instrumentellen Analytik entwickelt. Durch die weite Verbreitung an GC-MS-Anlagen in analytischen Labors und letztendlich auch Dank der Entwicklung elektronischer Datenbanken, mit denen die Massenspektren unbekannter Verbindungen in Sekundenschnelle identifiziert werden können, wurden im Bereich der Naturstoffforschung große Fortschritte gemacht.

Durch die außerordentlich geringen erforderlichen Stoffmengen im Nano-Picogramm-bereich zur Aufnahme eines Massenspektrums lassen sich mit Hilfe der GC-MS-Analytik problemlos Giftstoffe in Nahrungsmitteln oder in der Umwelt bis hinunter in den ppb-Bereich nachweisen.

Die starke Nachfrage an GC-MS-Geräten führte deshalb zur Entwicklung preisgünstigerer, leicht bedienbarer kleinerer Messgeräte (Bench-Top-Machines), die zu einem Anschaffungspreis von ca. 150.000,- DM erhältlich sind und zur Reinheits- und Qualitätskontrolle von Lebensmitteln in nahezu jedem analytischen Labor unentbehrlich wurden.

Die eindeutige Identifizierung der Substanzen einer Probe erfolgt gleichermaßen mit Hilfe ihres durch Co-Chromatographie von n-Alkanen errechneten Retentionsindex nach Kovats und anhand ihrer Massenspektren, welche Fingerprints der Verbindungen darstellen.

Mit Hilfe von uns durchgeführter, auf GC-MS-Analytik basierender Untersuchungen der Alkaloidzusammensetzungen von über 100 Lupinenspezies aus der alten und neuen Welt, können chemotaxonomische Aussagen über die mögliche Herkunft und Art der Lupinen getroffen werden.

Informationen über die Zusammensetzungen und Mengen der in der Lupine enthaltenen, für uns schädlichen Chinolizidinalkaloide sind nicht nur von akademischem Interesse, da gerade durch diese Informationen eine Optimierung der Aufzucht weiterer alkaloidarmer Süßlupinensorten zur Nutzung der Lupine als Nahrungsträger erfolgen kann.

Literatur

Finnigan MAT, 4000 / 4500 Series Automated GC / MS, Service Manual, 8, 7, 1985

- Herb, R., Chromatographie in der Gasphase, Skript zum Kurs „Trennmethode in der Organischen Chemie“, Universität Heidelberg 1985
- Kovats, E., Gas-Chromatographische Charakterisierung organischer Verbindungen, *Helvetica Chimica Acta*, FASCICULUS VII, 206: 1915-1932, 1958
- Meißner, C., Krauß, D., Wink M, Identifizierung und Quantifizierung von Lupinenalkaloiden mit Kapillargaschromatographie und gekoppelter Massenspektroskopie (GC/MS), *CLB Chemie in Labor und Biotechnik*, Jahrgang 7/1993, 331-336
- Meißner, C., Wink, M., GC-MS-Analyse von Alkaloiden nordamerikanischer Lupinen. In: *Lupinen 1991-Forschung, Anbau und Verwertung*; M.Wink (Hrsg.), pp. 91-129, 1992
- Roberts, M.F. & M. Wink, (eds). (1998) Alkaloids: Biochemistry, ecology and medicinal applications; Plenum, New York, 486 pp
- Rücker, Neugebauer, Willems, *Instrumentelle pharmazeutische Analytik*, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart
- Schumann, D., Neuner-Jehle, N. und Spittler, G., Schlüsselbruchstücke von Alkaloiden, *Mh. Chem.*, 99, 390-408, 1968
- Steinberger, R. und Hänsel, E., *Pharmakognosie*, 5. Auflage, Springer Verlag 1992
- Wink, M.: Plant breeding: Importance of plant secondary metabolites for protection against pathogens and herbivores. *Theoretical Applied Genetics* 75, 225-233, 1988
- Wink, M.: The role of quinolizidine alkaloids in plant insect interactions. In *Insect-plant interactions* (E.A. Bernays, eds), Vol. IV, 133-169, CRC-Press, Boca Raton, 1992
- Wink, M. Allelochemical properties and the raison d'être of alkaloids. In "The Alkaloids, G. Cordell, ed.), Academic press, Vol. 43, 1-118, 1993
- Wink, M., Quinolizidine Alkaloids, *Methods in Plant Biochemistry*, Vol. 8, pp. 197-239, Academic Press 1993
- Wink, M., Die chemische Verteidigung der Pflanzen und die Anpassung der Pflanzenfresser, In: *Lupinen 1991-Forschung, Anbau und Verwertung*; M.Wink (Hrsg.), pp. 130-156, 1992
- Wink, M. Interference of alkaloids with neuroreceptors and ion channels. In *Bioactive natural products*. Atta-Ur-Rahman (Ed.), Elsevier (in press)
- Wink, M., Meißner, C. und Witte, L.: Patterns of quinolizidine alkaloids in 56 species of the genus *Lupinus*. *Phytochemistry* 38, 139-153, 1995
- Wink, M., Schmeller, T., & Latz-Brüning, B. Modes of action of allelochemical alkaloids: Interaction with neuroreceptors, DNA and other molecular targets. *J. Chemical Ecology* (in press)
- Witte, L., et al., Comparative analysis of pyrrolizidine alkaloids from natural sources by gas chromatography-mass spectrometry. *Phytochemistry*, 32: 187-196, 1993

Die Bedeutung des Lupinenanbaus in Deutschland

U. Schmiechen

Saatzucht Steinach GmbH
Station Bornhof
Klockower Straße 11
17219 Bocksee

Zusammenfassung

Die Geschichte des Lupinenanbaus in Ost- und Westdeutschland, sein aktueller Stand, sowie Chancen und Probleme werden referiert und diskutiert.

Abstract

The articles gives a review on the history of lupins in East and West Germany. It provides an overview on the present situation and reflects chances and problems of lupin production in Germany.

Key words: Lupins, production, East Germany, West Germany

Die Entwicklung des Lupinenanbaus in Ost- und Westdeutschland

Lupinen haben weltweit und teilweise schon sehr lange eine große Bedeutung für die menschliche und tierische Ernährung. Sehr früh wurde von den Landwirten die hervorragende Vorrfruchtwirkung dieser Pflanzenarten bemerkt und vielfältig genutzt. In Deutschland erlangte der Lupinenanbau vor der Jahrhundertwende seine größte Anbauverbreitung (Tab. 1).

Tabelle 1: Anbauflächen der Lupinen (*L. luteus* u. *L. angustifolius*) in Deutschland in Hektar (aus Becker-Dillingen 1929 gekürzt)

Jahr	gesamt	dav. für Körner- gewinnung	für Grün- düngung
1878	423 961	228 298	183 416
1913	216 495	64 728	132 617
1926	174 190	46 728	127 464

Zu erwähnen ist, daß es sich bei diesen Anbauflächen ausschließlich um den Anbau von Bitterlupinen handelt, wobei die bitteren Körner und die gewachsene Grünmasse nur von Schafen gefressen wurde. Für die menschliche Ernährung wurden die Lupinenkörner

gewässert, um den hohen Alkaloidgehalt herauszulösen.

Während um 1870 die Anbaufläche bei Lupinen in Deutschland mit 500 000 ha angegeben wird, verringerte sich in den nächsten 50 Jahren der Anbau deutlich. Bei den Schafen zeigte sich zunehmend eine Krankheit auch mit „Lupinose“ bezeichnet, die auf den Verzehr von alkaloidhaltigen Lupinen zurückgeführt wird. Der Anbau für die Gründüngung blieb dabei jedoch weitgehend erhalten. Als von SENGBUSCH 1928 die ersten alkaloidarmen Lupinenpflanzen bei Gelblupinen fand, gelangte der Körneranbau aber wieder zu einer neuen Blüte (Tab. 2).

Tab. 2: Anbau von Süßlupinen zur Körnergewinnung in Deutschland
(Auszug aus HACKBARTH u. TROLL; 1956)

Jahr	Anbaufläche
1928	3 Pflanzen
1931	2 ha
1934	3800 ha
1937	47664 ha
1940	52215 ha
1943	48711 ha

Nach dem zweiten Weltkrieg verlief die Entwicklung des Lupinenanbaus im geteilten Deutschland sehr unterschiedlich, sicher begründet durch den traditionellen Anbau der Gelblupine in den Ostgebieten Deutschlands. Während sich vor 1945 der Anbau im wesentlichen auf Gelblupinen und Blaue Lupinen bezog, erreichte auch jetzt die Weißlupine eine erste Anbaubedeutung (Tab. 3).

Tab. 3: Anbauumfang des Gelblupinenanbaus in Ostdeutschland
(neue Bundesländer), Erhebung von MICHALEK 1989

Nutzungsart	Anbaufläche in ha
Saatgutproduktion	18 - 20 000
Körnerfutterproduktion	8 - 12 000
Grünfutterproduktion	10 - 20 000
Hauptfrucht	
Zweit- und Hauptfrucht	80 - 100 000
Gesamtanbaufläche	116 - 152 000
im Vergleich	
Erbsen zur Saatgutproduktion	17 000

In der DDR schwankte der Gelblupinenanbau, es waren fast ausschließlich Süßlupinen, zwischen 120 000 und 150 000 ha. Blaue Lupinen standen nicht im Feld. Weißlupinen gelangten versuchsweise zum Anbau. Wegen der sehr späten Abreife der vorhandenen ausländischen Sorten blieb die Verbreitung jedoch stets unter 1000 ha.

Aktuelle Situation des Lupinenanbaus

RÖMER ermittelte für das Jahr 1990 für Deutschland folgende Anbauverbreitung (Tab. 4).

Tab. 4: Anbauflächen und Nutzungsrichtungen von Lupinen in Deutschland im Anbaujahr 1990

Auszug aus Tabellen eines Referates von Römer 1993

Lupinenart	Nutzungsrichtung	Anbaufläche in ha	
		Deutschland West	Deutschland Ost
<i>L. angustifolius</i>	Gründüngung, Grünbrache	ca. 12 000	0
<i>L. luteus</i>	Gründüngung	ca. 850	0
	Körnernutzung	ca. 250	5000 - 8000
	Saatgutproduktion	0	22 116
	Grünfutter	0	ca. 100 000
<i>L. albus</i>	Gründüngung	ca. 80	0
	Körnernutzung	ca. 320	100 - 200
Gesamt		ca. 13 500	ca. 127 200 - 130 300

Die Entwicklung des Anbauumfanges der letzten Jahre lassen sich auch aus den amtlich gemeldeten Saatgutvermehrungsflächen ableiten (Tabelle 5). Der weitaus größte Anteil des Lupinenanbaus befindet sich dabei eindeutig in den östlichen Teilen Deutschlands.

Nach 1990 ging der Lupinenanbau während der Umstrukturierung der Landwirtschaft, insbesondere durch den Abbau der Viehbestände in Ostdeutschland zunächst stark zurück. Erst nach der Gewährung einer Flächenbeihilfe für Körnerleguminosen und einer langsamen Stabilisierung der landwirtschaftlichen Privatwirtschaft mit einem Trend zur erweiterten Viehhaltung, stieg auch wieder das Interesse zu einem stärkeren Anbau von Süßlupinen in den neuen Bundesländern.

Tab. 5: Zur Feldbesichtigung gemeldete Saatgutvermehrungsfläche für Grobleguminosen (in ha)

Quelle Statist. Bundesamt/Bundesverband Deutscher Pflanzenzüchter

	1991	1992	1993	1994	1995
Gesamtfläche Grobleguminosen	6791	9561	15944	11538	10128
	2888	5336	8683	4904	4824
dar. Ackerbohnen	1485	2231	2931	2971	1848
dar. Lupinen	1060	964	3780	3103	3144

Die Vermehrungsfläche für Lupinen beträgt demnach z.Z. rund 3000 ha.

Sehr aufschlußreich sind die jüngsten Zahlen, die der Bundesernährungsminister Jochen Borchert anlässlich einer Pressekonferenz zum Hülsenanbau in Deutschland bekannt gegeben hat (Tab. 6).

Tab. 6: Entwicklung der Anbaufläche in ha von 1995 zu 1996 bei Hülsenfrüchten
(aus der Presseerklärung des Bundesernährungsministers Herrn Borchert vom 29.8.1996)

Jahr	alte Bundesländer		neue Bundesländer		Gesamtdeutschland	
	ha	%	ha	%	ha	%
1995	35.600	100	87.500	100	123.100	100
1996	32.700	92	115.500	132	148.200	120
im Vergleich (1996=100%): (Quelle: Vorbericht Bodennutzung 1996)						
Erbsen					89.000	60
Ackerbohnen					5.200	4
n						
übrige					54.000	36

Danach werden in Deutschland z.Z. ca. 50 000 ha Lupinen angebaut. Deutschland liegt übrigens nach Erhebungen des Ernährungsdienstes bei der Produktion von Hülsenfrüchten im EU-Bereich hinter Frankreich und Großbritannien an dritter Stelle.

Im gleichen Blatt wird für Deutschland ein Anstieg des Körnerleguminosenanbaus in den nächsten Jahren auf das doppelte prognostiziert, das entspricht, vorausgesetzt der Anteil der angebauten großkörnigen Arten bliebe erhalten, einer künftigen Lupinenan-

baufläche von fast 100 000 ha. Dies ist in jedem Fall für Deutschland eine wichtige wirtschaftliche Größe.

An den zusammengetragenen Zahlen ist zu erkennen, daß es sich bei Erhebungen in der Bundesrepublik Deutschland stets nur um geschätzte Flächen handelt. Leider gibt es für Lupinen trotz des bedeutenden Anbaus in Deutschland noch keine statistischen Erhebungen zu diesen sehr wertvollen Kulturpflanzen. Den neuen wirtschaftlichen Verhältnissen sollte sich die deutsche Statistik nun umgehend anpassen und die Lupinen als eigene Arten erfassen.

Besonderheiten und Vorzüge der Lupine

Welche Gründe bewegen die Landwirte, Lupinen in ihre Fruchtfolge einzugliedern? Die Vorteile und Besonderheiten dieser Kulturpflanze sollen in 8 Punkten zusammengefaßt werden:

1. Lupinen sind Stickstoffsammler. An den Wurzeln, bei einigen Arten, auch am Wurzelhals, bilden Bakterien eine Symbiose mit der Wirtspflanze. Der Pflanze steht für das eigene Wachstum Stickstoff in ausreichendem Maße zur Verfügung, es wird in erheblichem Umfang auch noch ein Überschuß produziert, der den Nachfrüchten zu Gute kommt. Da dieser Überschuß gebunden ist und auf dem Feld verbleibt, ist dies einer stetigen Stickstoffdüngung zu den Nachfrüchten gleichzusetzen. Dem Landwirt bleiben Teilkosten für die übliche Stickstoffdüngung für Nichtleguminosen im Nachbau erspart. Der Nachfrucht stehen ca. 80 bis 100 kg/ha kostenlos zur Verfügung.

2. Lupinen haben einen ungewöhnlich hohen Vorfruchtwert. Der Vorfruchtwert ist insbesondere in der kostenlosen Stickstoffdüngung zur Nachfrucht begründet, aber auch in den sonstigen Bodenverbesserungen. Auf leichten Böden ist der Pioniercharakter der Gelben Lupine ausreichend bekannt.

Tabelle 7 gibt den hervorragenden Vorfruchtwert der Lupine in DM an:

3. Alle in Deutschland landwirtschaftlich genutzten Lupinenarten bilden eine lange Pfahlwurzel, die weit über 1 m tief in den Untergrund eindringt. Mit dieser Pfahlwurzel werden Untergrundverdichtungen durchbrochen und damit für nachfolgende Kulturpflanzen ein tieferes Eindringen ihrer Wurzeln ermöglicht.

Lupinenwurzeln mobilisieren insbesondere schwer lösliche Phosphate auch in tieferen Bodenschichten. Für andere Pflanzen bereits verlorene Nährstoffe werden so durch den Lupinenanbau wieder nutzbar. Bedingt durch diese Besonderheit verzichtet der Landwirt auf eine Phosphatdüngung zu Lupinen.

4. Die unterschiedlichen Klima- und Bodenansprüche der drei Lupinenarten, Gelbe Lupinen, Blaue Lupinen, Weiße Lupine gestatten den Lupinenanbau auf fast allen Ackerböden in Deutschland.

Tab. 7: Vorfruchtwert der Körnerleguminosen (Ufop 1997)

Vorfruchtwirkungen	
- Mehrerträge der Folgefrucht bzw. Folgefrüchte	
- Einsparungen bei der N-Düngung zur Folgefrucht	
- Weniger aufwendige Grundbodenbearbeitung durch verbesserten Garezustand des Bodens	
Ökonomische Bewertung	
	Fruchtfolgewert in DM/ha
Mehrertrag Weizen (ca. 2 bis 8 dt/ha)*	36,00 bis 144,00
Einsparung N-Dünger (ca. 40 bis 80 kg N/ha)**	44,00 bis 88,00
Verringerter Aufwand für Bodenbearbeitung***	20,00 bis 40,00
insgesamt	100,00 - 272,00
* Mehrererlös 25,00 DM/dt abzüglich 7,00 DM/dt (anteiliger Nährstoffentzug, Trocknung)	
** 1,10 DM/kg N frei Krume; u.U. gestaltet sich die Bestandesführung bei der Folgefrucht schwieriger	
*** Einsparung eines Bearbeitungsganges	

Dem Getreide vergleichbar, stellen auch die Lupinenarten spezifische Ansprüche an den Boden. Die Gelbe Lupine gehört auf leichte Standorte und stellt hinsichtlich ihrer Bodenansprüche die gleichen Anforderungen wie der Roggen. Die Blaue Lupine liebt die Übergangsböden und wäre damit der Gerste gleichzusetzen und die Weiße Lupine stellt ähnlich hohe Ansprüche an den Boden und das Klima wie der Weizen.

Die Pflanzenzüchtung hat in den letzten Jahren bei diesen Arten wertvolle Eigenschaften wie Alkaloidarmut, hohe Standfestigkeit, gute Platzfestigkeit, frühe Reife, Spätsaatverträglichkeit u.a. in neue Sorten eingelagert, die wesentlich zur Verbreitung des Lupinenanbaus in Deutschland beigetragen haben.

5. Das Lupinensamen ist sehr eiweißreich und damit ein sehr wertvoller einheimischer Grundstoff in der menschlichen und tierischen Ernährung. Tabelle 8 gibt Auskunft über die wichtigsten Inhaltsstoffe der drei in Deutschland genutzten Lupinenarten im Vergleich zu anderen Körnerleguminosen.

Der Bedarf einheimischer Lupinenpartien für die Verarbeitung in der Mischfutterindustrie Deutschlands ist groß. Das Schroten und Verfüttern im eigenen Landwirtschaftsbetrieb ist wegen des hohen Wertes der Lupinen weit verbreitet. Der Bedarf der Futterindustrie kann deshalb z.Z. bei weitem nicht gedeckt werden.

Tab. 8: Sameninhaltsstoffe von Lupinen im Vergleich mit anderen Körnerleguminosen (% der Samen-TM)

Art	Rohprotein	Rohfett	Rohfaser	Rohasche	N-freie Extraktst.
<i>L. albus</i>	39,5	9,6	10,0	4,5	36,4
<i>L. angustifolius</i>	35,6	5,6	16,9	4,0	38,4
<i>L. luteus</i>	45,1	4,9	16,6	4,7	28,7
Ackerbohne	30,0	1,6	9,1	55,3	4,0
Körnererbse	26,0	1,5	6,7	3,7	62,1
Sojabohne	38,9	21,6	6,2	5,5	27,8
Sojaextr.44/7*	42,5	1,5	7,0	6,8	28,9
HP Sojaextr.*	46,5	1,7	4,0	7,3	27,5

Quelle: Plank, A.: Untersuchungen über den Anbau der Lupine (*L. albus*, *L. angustifolius*, *L. luteus*) in Österreich und ihre Verwendung als Eiweiß- und Alkaloidpflanze; Dissertation, Wien 1989 Quelle: Mitteilung Mischfutterwerk 1997

In letzter Zeit gibt es zahlreiche Bestrebungen, das Lupinensamen auch in der menschlichen Ernährung einzusetzen. Als einheimische Rohstoffquelle bieten die Lupinenkörner eine wichtige Alternative zu der bisher in großem Umfang eingesetzten Sojabohne. Lupinenmehl wird als schmackhafter Zusatz zu verschiedenen Backwaren eingesetzt. Bekannt ist heute die Verwendung für Tofu, die Herstellung von Streichkäse, Kochschinken, Babybrei und Sportlerdrinks.

6. Die in der Vergangenheit so unerwünschten Alkaloide, die den Einsatz der Lupinen in der menschlichen und tierischen Ernährung lange Zeit stark eingrenzten, erlangen in der Zeit des Bestrebens zum biologischen Landbau, eine große Bedeutung. Es wurde festgestellt, daß die Alkaloide viele Insekten und Schädlinge von einem Befall dieser Pflanzen abschrecken. Es gibt heute ernsthafte Überlegungen, die Alkaloide aus den Bitterlupinen herauszulösen, um mit diesen Substanzen biologisch wirksame Pflanzenschutzmittel, insbesondere für den Gemüse- und Obstbau herzustellen.

Bekannt ist heute auch, daß Lupinenalkaloide in Lösung mit Wasser, auf andere Kulturpflanzen aufgebracht, deutlich höhere Erträge bringen. Bei Getreide, Mais, aber auch bei mit Alkaloiden besprühten Gemüsearten sind Ertragssteigerungen bis 20 % festgestellt worden. Bei einer industriellen Verarbeitung alkaloidreicher Lupinensorten wür-

den sich sicher weitere wertvolle Anwendungsgebiete, insbesondere im ökologischen Landbau ergeben.

7. In Deutschland wird der Anbauumfang der einzelnen landwirtschaftlichen Kulturpflanzen in erheblichem Maße von den flächen- oder erntebezogenen Beihilfen bestimmt. Körnerleguminosen werden z.Z. in Deutschland länderspezifisch zwischen 640,- und 1100,- DM/ha gestützt. Dies ist für viele Landwirte ein großer Anreiz zu einem erweiterten Anbau (Tabelle 9).

Tab. 9: Flächenbeihilfe - u.a. für Lupinen

(Quelle: „Leguminosen“, 1. Aufl. 1994, Saatunion Hannover)

Land/Region	DM/ha	Land/Region	DM/ha
Niedersachsen, Region 2	1100	Mecklenburg-Vorpommern	834
Schleswig-Holstein	1042	Bremen	817
Sachsen	953	Rheinl.-Pfalz, nicht ben.G.	788
Sachsen-Anhalt	940	Baden-Württemberg	787
Niedersachsen, Region 3	938	Niedersachsen, Region 9	776
Thüringen	938	Niedersachsen, Region 4	724
Hamburg	920	Niedersachsen, Region 7	719
Niedersachsen, Region 1	898	Brandenburg/Berlin	692
Nordrhein-Westfalen	889	Rheinl.-Pfalz, benacht.G.	689
Niedersachsen, Region 6	857	Saarland	670
Bayern	846	Niedersachsen, Region 8	646
Hessen	842	Niedersachsen, Region 5	640

8. Im ökologischen Landbau sind Lupinen wegen der Stickstoffbindung aus der Luft in der Fruchtfolge unersetzlich, weil mineralischer Stickstoffdünger nicht eingesetzt werden darf. Sie besitzen hier einen unübertrefflichen Vorfruchtwert. Auf leichten Standorten ermöglicht die Gelbe Lupine überhaupt erst einen wirtschaftlichen ökologischen Landbau.

Literatur:

- BAETCKE 1990: Landwirtschaft im alten Mecklenburg
- BECKER-DILLINGEN, J. 1929: Handbuch des Hülsenfruchtanbaus und Futterbaus 174-217
- GÄDE, H. 1962: Über die Anbaueignung alkaloidhaltiger und alkaloidarmer Gelblupinen auf leichten Böden, Albrecht-Thaer-Archiv 6
- KAHNT 1986: Welchen Vorfruchtwert haben Körnerleguminosen? DLG-Mitt. Sonderh. Körnerleguminosen
- MICHALEK, K. FOHLER, H. BRUMMUND, M. MELZER, H. 1989: Empfehlungen zur Saatgut- und Körnerfutterproduktion von Erbsen und Gelben Süßlupinen. VE Kombinat Pflanzenzüchtung und Saatgutwirtschaft Quedlinburg

- PLANK A. 1989: Untersuchungen über den Anbau der Lupine (*L. albus*, *L. angustifolius*, *L. luteus*) in Österreich und ihre Verwendung als Eiweiß- und Alkaloidpflanze. Diss. Wien
- PROTZMANN 1991: Zur Vorfrucht- und Stickstoffwirkung von Leguminosen unter besonderer Berücksichtigung der Lupine. Inaugural-Dissertation, Gießen
- RÖMER, P. Anbau, Verwertung und Züchtung der Lupine in Deutschland, Vortrag, gehalten anlässlich der Lupinenfachtagung am 28. Januar 1993 bei der Landwirtschaftskammer für Oberösterreich, Linz
- RÖMER, P. 1996: Lupinen, Verwertung und Anbau. Gesellschaft zur Förderung der Lupine. Saatunion 1994: Leguminosen Aufl. Hannover
- SIMON, 1960: Sandige Ackerböden, Bodenkunde, Pflanzenbau, Ökonomie; VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.) Landwirtschaftliche Bodennutzung und pflanzenbauliche Erzeugnisse verschiedener Jahrgänge Land- und Forstwirtschaft, Fischerei- Fachserie 3, Reihe 3, Verlag Metzler-Foeschel, Stuttgart
- Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Verschiedene Jahrgänge, Landwirtschaftsverlag Münster Hültrup
- UFOP-Schriften 1996 Potentiale und Perspektiven des Körnerleguminosenanbaus in Deutschland H. 3

Anthracnose 1997: Bestandsaufnahme und Lösungsansätze

Peter Römer
Südwestdeutsche Saatzeit
Im Rheinfeld 1 - 13
76437 Rastatt

Zusammenfassung

Seit dem ersten Auftreten der Anthracnose in Deutschland im Jahr 1995 hat sich diese samenbürtige Pilzkrankheit fast flächendeckend ausgebreitet und nun auch die Gelblupinen in den klassischen Lupinenanbaugebieten erfaßt. Mit Hilfe eines integrierten Systems kann die Krankheit bekämpft werden. Hierzu zählen Fruchtfolge- und Hygienemaßnahmen, direkte Bekämpfung mit Pflanzenschutzmitteln und Resistenzzüchtung. Die Ergebnisse dreijähriger Beiz- und Fungizidversuche mit Weißen Lupinen zeigen, daß es einige Präparate gibt, die den Pilz wirkungsvoll bekämpfen können. Einige davon werden sehr wahrscheinlich auch nach der anstehenden Neuregelung des Pflanzenschutzgesetzes für die Anthracnosebekämpfung zur Verfügung stehen.

Abstract

Anthracnose first occurred in Germany in white lupins in 1995. Up to now this seed-borne disease has spread over the main lupin growing area where mainly yellow lupins are grown. The control of the disease is possible if an integrated system is applied. This includes crop rotation, hygiene measures, direct control with plant protection chemicals and breeding for resistance. The results of a 3 year seed dressing and fungicide trial reveal that some of the preparations are very efficient to control the disease. Some of these are further tested and could still be used if the new plant protection law comes into force in July 1998.

Key Words: Anthracnose, *Colletotrichum*, *Lupinus albus*, seed treatment, fungicides, integrated control

Einleitung - Allgemeine Situation

Die als „Anthracnose“ bezeichnete Brennfleckenkrankheit der Lupine nimmt in den letzten Jahren weltweit an Ausbreitung zu. Wie aus Tabelle 1 ersichtlich, sind in jüngster Zeit auch bedeutende Anbauländer, wie z. B. Australien betroffen. Man kann davon ausgehen, daß es derzeit praktisch kein Lupinen-Anbauland mehr ohne Anthracnose gibt.

Tab. 1. Auftreten und weltweite Verbreitung der Anthracnose

Land	erstes Auftreten	Lupinenarten
Azoren (P)	16. Jhd.	<i>L. albus</i>
Südamerika	ca. 1900	<i>L. albus</i> , <i>L. mutabilis</i>
USA	ca. 1940	<i>L. angustifolius</i> , <i>L. albus</i>
Frankreich	1982	<i>L. albus</i> , <i>L. mutabilis</i>
Ukraine	1983	<i>L. albus</i> , <i>L. luteus</i>
Rußland	1988	<i>L. albus</i> , <i>L. luteus</i>
Spanien	1989	<i>L. albus</i>
Großbritannien	1989	<i>L. polyphyllus</i>
Deutschland	1992	<i>L. albus</i> , <i>L. mutabilis</i> , <i>L. luteus</i> , <i>L. angustifolius</i> , <i>L. polyphyllus</i>
Osterreich	1993	<i>L. albus</i>
Australien	1996	<i>L. albus</i> , <i>L. angustifolius</i> , <i>L. cosentinii</i> , <i>L. polyphyllus</i>
Südafrika	1997	<i>L. albus</i>

In Deutschland wurde der erste stärkere Befall in der Praxis 1995 bei Weißlupinen (*Lupinus albus*) beobachtet. Zu dieser Zeit glaubte man, der Befall beschränke sich auf diese Lupinenart und die für sie typischen wärmeren Regionen im Süden Deutschlands. Man hatte die Hoffnung, daß es gelingen werde, die Krankheit von Gelblupinen und aus den klassischen Lupinenanbaugebieten in den neuen Bundesländern fernzuhalten.

Tabelle 2. Anthracnose in Vermehrungsbeständen: Lupinen in den Jahren 1996 und 1997

Jahr	1996		1997		
	Weißer Lupine	Gelber Lupine	Weißer Lupine	Gelber Lupine	Blaue Lupine
Summe Fläche (ha)	121,72	1879,43	76,6	2057,55	91,65
ohne Anthracnose (ha)	34,73	1744,93	64,1	1308,05	60,9
mit Anthracnose (ha)	87	134,5	12,5	749,5	30,75
% mit Anthracnose	71,5	7,2	16	36,4	33,6

Im Jahr 1996 wurde das erste Auftreten der Anthracnose in Gelblupinen-Konsumbeständen in Mecklenburg-Vorpommern und in Vermehrungsbeständen in Brandenburg beobachtet. Bereits im folgenden Jahr 1997 war eine fast flächendeckende Ausbreitung der Anthracnose in den Hauptanbauländern erfolgt. Der in Tabelle 2 zusammengestellte Vergleich der Lupinen-Vermehrungsflächen der Jahre 1996 und 1997 zeigt

- einen Rückgang der Vermehrungsflächen von Weißlupinen, hier waren prozentual vergleichsweise weniger Flächen befallen;
- die Zunahme des Befalls bei Gelben und Schmalblättrigen Lupinen. Bei beiden Arten mußten 1997 rund 1/3 aller Vermehrungsflächen wegen Anthracnose ab-

erkannt werden.

Diese Situation entstand, obwohl die für die Vermehrungen ausgelieferten Saatgutpartien nach den bisher vorhandenen und angewendeten Analysemethoden untersucht und für Anthracnose-frei befunden worden waren. In einigen Fällen trat Anthracnose auch in Beständen auf, die auf überlagertes Saatgut des Jahres 1995 zurückgingen (in diesem Jahr wurde noch kein Befall an Gelblupinen beobachtet).

Daraus folgt, daß die ursprüngliche Absicht, die Anthracnose von den Gelblupinen und damit aus den klassischen Lupinenanbaugebieten fernzuhalten, gescheitert ist. Wir müssen also lernen, mit der Anthracnose zu leben und entsprechende Bekämpfungsstrategien entwickeln. Hierzu müssen wir zunächst etwas über den Schaderreger wissen.

Epidemiologie des Schaderregers und Bekämpfungs-Management

Die wichtigsten Stichpunkte hierzu sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Die Anthracnose ist eine samenbürtige Pilzkrankheit und wird verursacht durch Pilze der Gattung *Colletotrichum*. Über die genaue taxonomische Zuordnung des Schaderregers besteht noch Uneinigkeit. Nach Gondran et al. (1996) kommen sowohl *Colletotrichum acutatum* als auch *C. gloeosporioides* in Frage. In Australien vertreten die Phytopathologen die Meinung, der Schaderreger gehöre *C. gloeosporioides* an und komme in mindestens in drei Typen vor (VCG 1 in Nordamerika und Europa, VCG 2 in Australien und VCG 3 als schwächer virulenter Typ in Europa hauptsächlich an Erdbeeren) (Sweetingham et al., 1998/1). Aufgrund biotechnologischer Studien im selben Land glaubt man dagegen, *C. acutatum* als verantwortlichen Pilz identifiziert zu haben (Jones, 1997). Untersuchungen der Biologischen Bundesanstalt Berlin zufolge handelt es sich bei allen weltweit von Lupinen gesammelten Isolaten um ein und denselben Typ, dessen genaue taxonomische Zuordnung aber bisher noch nicht möglich war (Feiler, 1997).

Tabelle 3: Epidemiologie der Anthracnose der Lupine

1. Schaderreger: *Colletotrichum acutatum* oder *C. gloeosporioides*?
2. Übertragung durch Saatgut, Wasser, (Wind, Insekten?)
3. Infiziertes Saatgut: Erreger wächst von außen unsichtbar mit, tritt mit Beginn der generativen Phase nach außen (Blütenknospenstadium)
4. Verbreitung im Bestand: gefördert durch Feuchtigkeit, Temperaturen von 15-18 °C reichen aus; Höhe der Ertragsausfälle abhängig von der Jahreswitterung
5. Überdauerung: Boden (Pflanzenteile), Saatgut
6. Anfälligkeit der Lupinenarten: Weißer Lupine > Gelber > Blaue Lupine

Die Übertragung des Pilzes erfolgt in erster Linie mit dem Saatgut. Die explosionsartige Verbreitung von einem Jahr zum anderen spricht aber dafür, daß es noch andere Infektionsquellen und -wege geben muß. Da die Hauptfruchtform des Pilzes bisher nicht gefunden wurde, kann eine Verbreitung der Sporen mit dem Wind weitgehend ausgeschlossen werden. Die Sporen der Nebenfruchtform benötigen Wasser zur Verbreitung. Feuchtigkeit, Wärme und Wind (zum Transport der Wassertröpfchen) fördern die Verbreitung des Pilzes im Bestand. Möglicherweise erfolgt auch eine Übertragung durch Insekten oder andere Tiere. Ob der Pilz noch weitere Wirtspflanzen hat, ist nicht bekannt. Denkbar wäre es, daß er an den bei uns weit verbreiteten Zier- und Dauerlupinen vorkommt (*Lupinus polyphyllus*, „Russel-Hybriden“), wie dies z. B. auch in Australien der Fall ist (Sweetingham und Shea, 1998).

Wird infiziertes Saatgut ausgesät, so sind die ersten deutlichen Symptome im Bestand in der Blütenknospenphase (ab Stadium 51) sichtbar. Die Pflanzen sind verdreht wie nach einem Wuchsstoffherbizid-Schaden, an Stengeln und Blattstielen sind „Brennflecken“ (eingesunkene Flecken mit dunkelbraunem Rand und hellbraunem bis orange-farbenem Zentrum) erkennbar. Das Auftreten im Bestand erfolgt dabei nesterweise. Der Pilz wächst in der Pflanze vermutlich von den Keimblättern nach oben. Dafür spricht, daß er in Wurzel und Hypokotyl bisher nicht nachgewiesen werden konnte (Feiler, 1997). Der weitere Krankheitsverlauf hängt entscheidend von der Witterung ab. Feuchte und warme (wobei etwa 15 bis 18°C ausreichend sind) Witterung - besonders in der kritischen Zeit des ersten Auftretens der Symptom, also vor und während der Blüte - fördern die Ausbreitung und können dazu führen, daß der Feldbestand innerhalb weniger Tage nahezu vollständig infiziert ist. Entsprechend groß können die Ertragsausfälle sein (bis zum Totalausfall). Bei Trockenheit dagegen können zwar Symptome auftreten, es erfolgt aber keine weitere Verbreitung und die Ertragsausfälle sind gering bis nicht vorhanden.

Die Anfälligkeit der Lupinenarten für Anthracnose scheint unterschiedlich, wobei Weiße und Gelbe Lupinen am anfälligsten, Schmalblättrige Lupinen etwas weniger anfällig sind. Generell scheinen spätreife Arten, Typen und Sorten stärkere Anfälligkeit zu besitzen als frühreife. Es muß an dieser Stelle aber nachdrücklich darauf hingewiesen werden, daß es innerhalb aller Arten Genotypen mit starker und solche mit weniger starker Anfälligkeit gibt. Dies zeigen australische Studien (Sweetingham et al., 1998/2). Eine Aussage zur Anfälligkeit bzw. Toleranz kann immer nur nach entsprechender Prüfung auf einen einzelnen Genotyp (bzw. eine Sorte) begrenzt erfolgen.

Aus den genannten Fakten läßt sich folgendes Schema für die Bekämpfung der Anthracnose entwickeln (Tabelle 4):

Tabelle 4: Wie können wir mit Anthracnose leben? - Lösungsansätze

1. Information aller Beteiligten!
2. Fruchtfolge einhalten (auch zu Nachbarflächen)
3. Hygienemaßnahmen bei Befall (keine Verschleppung)
4. Produktion von gesundem Saatgut und Saatgutkontrolle (!)
(Wahrscheinlichkeitsmodelle zur Ermittlung von "Gesundlagen", Saatgutanalytik)
5. Chemische oder physikalische Saatgut-Desinfektion
6. Fungizideinsatz in Vermehrungsbeständen
7. Suche nach Toleranz- bzw. Resistenzquellen

Beim Bekämpfungs-Management ist wichtig, einen integrierten Ansatz zu verfolgen. Eine der genannten Maßnahmen alleine wird nicht zum Erfolg führen. Nachdem beim ersten Auftreten der Krankheit in Deutschland nur sehr begrenzt Informationen vorhanden waren, ist der Kenntnisstand bei allen Beteiligten inzwischen deutlich verbessert worden. Aktuelle Forschungsergebnisse müssen aber immer wieder verbreitet werden.

Alleine durch Hygienemaßnahmen läßt sich schon einiges erreichen, so zum Beispiel durch

- Einhalten von Anbaupausen (4 - 5 Jahre), wobei auch an Lupinenfelder grenzende Nachbarflächen so zu behandeln sind, als hätten sie selbst Lupinen getragen
- Vermeidung der Verschleppung des Pilzes durch Maschinen und Menschen (nicht durch kranke Bestände laufen oder fahren, vor allem nicht bei Nässe, keine Reinigung befallener und gesunder Partien in der gleichen Saatgutaufbereitungsanlage)
- Anbau von zertifiziertem Saatgut
- Kein Nachbau von Anthracnose-befallenem Saatgut.
- Entscheidende Bedeutung kommt nach wie vor der Produktion von gesundem Saatgut zu. Hierbei müssen prinzipiell alle grundsätzlichen Voraussetzungen erfüllt werden, die auch für die Produktion Konsumware gelten. Zusätzlich sollte für die Saatgutvermehrung nach Standorten gesucht werden, die im Mittel der Jahre eher durch Trockenheit als durch häufige Niederschlagstätigkeit gekennzeichnet sind („Gesundlagen“). Außerdem sollten alle Vermehrungsbestände neben der vorgeschriebenen Feldbesichtigung auch einer Analyse des Saatguts auf Anthracnose hin unterzogen werden. Das gleiche gilt für Import- und Nachbausaatgut. Hierzu muß allerdings eingeschränkt werden, daß

es momentan keine zuverlässige und empfindliche Schnellmethode gibt. Von der Biologischen Bundesanstalt in Berlin wurde zwar ein verbesserter Agarplattentest entwickelt (Feiler, 1997), dieser ist aber nach wie vor in der Auswertung sehr zeitaufwendig (ca. 3 bis 4 Stunden je Probe) und mit einer maximalen Empfindlichkeit von 0,33 % Saatgutbefall (= 1 von 300 Körnern) noch nicht empfindlich genug.

Versuche zur chemischen Bekämpfung der Anthracnose

Neben den genannten indirekten Bekämpfungsmöglichkeiten kommt der direkten Bekämpfung des Pilzes am Saatgut und im Bestand besondere Bedeutung zu. Die im folgenden beschriebenen Versuche wurden ausschließlich mit chemischen Mitteln durchgeführt. Über den Einsatz physikalischer Methoden (z. B. Saatgut-Desinfektion mit Elektronenbestrahlung oder Heißwasserbehandlung) liegen keine Erfahrungen vor. Für alle Versuche wurden Weiße Lupinen (*Lupinus albus*) verwendet.

Beizversuche 1996/97

Einleitung

Die Bekämpfung des Pilzes am Saatgut bietet die beste Möglichkeit einer flächendeckenden Bekämpfungsmaßnahme. Von den am Markt befindlichen Beizmitteln sind nur Thiram-haltige Produkte für Leguminosen zugelassen. Von einer möglichen Wirkung der gehandelten Präparate gegen Pilze der Gattung *Colletotrichum* ist nichts bekannt. Aus diesem Grund wurde im Winter 1996/97 eine aus insgesamt 3 Versuchen bestehende Versuchsserie durchgeführt. Ausgewählt wurden vor allem breit wirkende Kombinationsprodukte. Bei der Bewertung der Beizmaßnahmen sind 4 Gesichtspunkte zu berücksichtigen:

1. Wirkung auf den Schaderreger (möglichst groß)
2. Beeinträchtigung von Triebkraft und Keimfähigkeit des Samensamens (möglichst gering)
3. Kosten des Beizmittels (möglichst niedrig)
4. Wirkung auf die Knöllchenbakterien (*Bradyrhizobium lupinii*) (möglichst gering).

Im ersten Schritt unserer Untersuchungen wurden nur die Punkte 1 und 2 berücksichtigt.

Material und Methoden

Verwendet wurde Saatgut der Sorte *Minori* mit 18 % Anthracnosebefall. Die verwendeten Beizmittel und deren Wirkstoffe sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

Tabelle 5: Im Winter 1996/97 getestete Beizmittel

Name	Wirkstoff und Wirkstoffkonzentration
ARENA	100 g/l Fenpiclonil + 5 g/l Tebuconazol
LANDOR CT	25 g/l Fludioxinil + 20 g/l Difenconazol + 5 g/l Tebuconazol
LARIN	100 g/l Fenpiclonil + 15 g/l Tebuconazol + 20 g/l Imazalil
MATADOR	251,7 g/l Tebuconazol + 75,2 g/l Triadimenol
FOLICUR	250 g/l Tebuconazol
GAMBIT	400 g/l Fenpiclonil
DITHANE ULTRA	750 g/kg Mancozeb
ROVRAL UFB	350 g/l Iprodion + 175 g/l Carbendazim
RAXIL S	20 g/l Tebuconazol + 20 g/l Triazoxyd
RPA 80524 F	12,5 g/l Triticonazol + 125 g/l Iprodion

Die Auswertung im Hinblick auf die Anthracnosewirkung erfolgte in den Versuchen 1 und 3 mit dem Kartoffeldextrose-Agar-Plattentest mit je 400 Körnern. Bei Versuch 2 wurden ebenfalls je 400 Körner im unbeheizten Gewächshaus ausgesät und nach 8 Wochen abschließend bonitiert. Dieser Versuch wurde vom Landespflanzenenschutzamt Sachsen-Anhalt (Frau Dr. Gippert) ausgewertet.

Die Keimfähigkeiten wurden in Versuch 1 im Labor bei 15°C ermittelt, in Versuch 2 im ungeheizten Gewächshaus (in den Monaten Februar und März) und in Versuch 3 im Kühlraum bei +5°C.

Ergebnisse

Tabelle 6 gibt einen Überblick über die Ergebnisse aller drei Versuche.

Die in Versuch 1 getesteten Mittel „Arena“ und „Larin“ zeigten in den hohen Dosierungen eine gute Anthracnosewirkung. Die Keimprüfung bei 15°C ließ zunächst keine phytotoxischen Effekte vermuten. Im Freilandversuch reagierten die Lupinenkeimlinge unter kühlen Auflaufbedingungen (z. T. Nachtfröste bis -5°C) jedoch mit Wachstumsverzögerungen. In einem Zeitraum von rund 14 Tagen nach der Keimung und dem Sichtbarwerden der Keimblätter konnte zunächst kein Entwicklungsfortgang mehr beobachtet werden. Diese Verzögerung konnten die Pflanzen bis zur Ernte nicht wieder aufholen, obwohl die Entwicklung bei wärmeren Temperaturen dann normal fortschritt. Durch verschieden starke Beeinträchtigung der Keimlinge wirkten die Bestände außerdem inhomogen.

Tabelle 6: Zusammenfassung der Ergebnisse von 3 Beizversuchen im Winter 1996/97 inklusive Feldbeobachtungen nach Aussaat im Frühjahr 1997

Beizmittel	Dosis (ml/100 kg)	% Anthracn.	% Keimfähigkeit	Kf in % d. Kontrolle	cm Wuchsh	Bemerkungen Feldbeobacht.
Kontrolle Vers. 1		18	46	100		
ARENA	200	1,5	55	120		Entwicklungsverzögerung bis zu 14 Tagen
	800	0,5	50	109		
LANDOR CT	400	9	51	111		bei Keimung unter tiefen Temperaturen
	700	6,25	39	85		
LARIN	200	4,5	58	126		
	400	1,5	57	124		
	800	0	54	117		
Kontrolle Vers. 2		6,5	56	100	17	
MATADOR	50	0	60	107	5	phytotoxisch!
FOLICUR	100	0,25	64	114	5	phytotoxisch!
GAMBIT	50	0,75	61	109	6	
	200	1	64	114	10	
DITHANE ULTRA	300 g	3	63	113	11	
Kontrolle Vers. 3		18	56	100	3,8	
ROVRAL UFB	400	1,25	69	123	3,8	
RAXIL S	200	5,75	66	118	2,4	
RPA 80524 F	600	1,75	58	104	2,3	

In Versuch 2 waren die Mittel mit den besten Wirkungen phytotoxisch, während das gut verträgliche Mittel „Dithane Ultra“ nur unzureichend gegen Anthracnose wirkte.

Aufgrund der Ergebnisse der ersten beiden Versuche wurde ein dritter Versuch angelegt, wobei die Auswertung der Anthracnosewirkung wie in Versuch 1 erfolgte, die Triebkraftprüfung aber im Kühlraum durchgeführt wurde, um mögliche Wechselwirkungen der Beizmittel mit kühlen Temperaturen beim Auflaufen der Pflanzen erfassen zu können. Alle in Versuch 3 geprüften Mittel zeigten eine unvollständige Anthracnosewirkung. „Rovral UFB“ hatte als einziges Präparat keine nachteilige Wirkung auf den Keimprozeß.

Fungizidversuche 1995 und 1996

Einleitung

Neben der Saatgutbehandlung bietet der Einsatz von Fungiziden im Lupinenbestand theoretisch eine weitere Bekämpfungsmöglichkeit. Aufgrund der anfallenden Kosten lohnt sich diese Maßnahme vor allem in Vermehrungs- und Zuchtgartenbeständen. Da keine Fungizide für Lupinen zugelassen sind und nichts über eine mögliche Anthracnosewirkung der gängigen Produkte bekannt ist, wurden in den Jahren 1995 und 1996 erste Versuche unternommen, um Wirksamkeit und mögliche Phytotoxizität einiger Mittel zu prüfen.

Material und Methoden

Das verwendete Saatgut stammte von einer Zuchtgartenlinie und hatte 2% Anthracnosebefall. Im Jahr 1995 wurde der gesamte Versuch gebeizt, in 1996 je eine Hälfte ungebeizt und die zweite mit „Rovral UFB“ gebeizt.

Die eingesetzten Fungizide, deren Wirkstoffe und Aufwandmengen sind in Tabelle 7 zusammengefaßt.

Tabelle 7: Fungizidversuche 1995 + 1996: Saatgut, Beizung und Fungizide

Saatgut: Linie L2090, 2 % Befall mit Anthracnose

Beizung:

1995 = ROVRAL UFB (350 g/l Iprodion + 175 g/l Carbendazim), 200 ml/100 kg
1996 = LANDOR (50 g/l Difenconazol + 50 g/l Fenpiclonil), 400 ml/100 kg

Fungizide:

- A) Harvesan (125 g/l Carbendazim + 250 g/l Flusilazol), 1,2 l/ha
- B) Bardos (100 g/l Difenconazol), 1 l/ha
- C) Alto 100 SL (100 g/l Cyproconazol), 0,8 l/ha
+ Bravo 500 (500 g/l Chlorthalonil), 1,6 l/ha
- D) Impact (125 g/l Flutriafol), 1 l/ha
+ Bravo 500 (500 g/l Chlorthalonil), 1,6 l/ha
- E) Indar 5 EC (50 g/l Fenbuconazol), 1,5 l/ha
- F) Sportak alpha (80 g/l Carbendazim + 300 g/l Prochloraz), 1,5 l/ha
- G) Opus Top (84 g/l Epoxiconazol + 250 g/l Fenpropimorph), 1,5 l/ha

Ermittelt wurde der Samenertrag bei Reife und der Anthracnosebefall unmittelbar vor Ernte des Versuchs mit einer Skala von 1 bis 9, wobei Bonitur 1 völlige Befallsfreiheit (keine Symptome sichtbar) und Bonitur 9 sehr starken Befall (alle Pflanzen mit starken Symptomen) bedeuten.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Versuche sind in Tabelle 8 dargestellt. Aus dem Versuch des Jahres 1995 ging „Harvesan“ als bestes Fungizid hervor. Trotz des niedrigen Befallsniveaus lassen sich die Wirkungen aller Fungizide statistisch absichern. Allerdings wirkte „Sportak alpha“ reifverzögernd und bei „Opus Top“ zeigten sich deutliche Blattverätzungen.

Die Ergebnisse des Jahres 1996 müssen differenziert nach Beizvarianten gesehen werden. In den ungebeizten Varianten brachten die Fungizid-Applikationen zwischen 4,5 dt/ha („Impact + Bravo“) und 17,4 dt/ha („Alto + Bravo“) Mehrertrag. Nach Beizung des Saatgutes bringt der Fungizideinsatz dagegen kaum noch eine zusätzliche Wirkung.

Tabelle 8: Fungizidversuche 1995 + 1996: Zusammenfassung der Ergebnisse

		1995			1996		
Fungizid	Beizung	Ertrag (dt/ha)	Ertrag (%)	Anthracc. 1 bis 9	Ertrag (dt/ha)	Ertrag (%)	Anthracc. 1 bis 9
Kontrolle	nein				13,7	100	8,7
	ja	3	100	7,8	37,2	272	4
Harvesan	nein				24,6	179	5,7
	ja	6,5	217	7,3	34,5	252	4,7
Bardos	nein				26,1	190	7
	ja				36,1	263	5,3
Alto + Bravo	nein				31,1	227	6,7
	ja				39,6	289	6,7
Impact + Bravo	nein				18,2	133	9
	ja				36,8	268	6,7
Indar 5 EC	nein				23,8	174	8
	ja				38,2	279	5
Sportak alpha	ja	5,7	190	7,3	*		
Opus Top	ja	5	165	6,8	**		
GD 5 %		1,7	58	1,1	7,3	54	1,6

Anthraccnose-Bonitur kurz vor der Ernte; 1 = kein Befall, 9 = 100 % Befall
*reifeverzögernd! **Blattverätzungen!

Beiz- und Fungizidversuch 1997

Einleitung

Im Jahr 1997 wurde im Rahmen eines EU-Forschungsprojektes ein mehrfaktorieller Versuch angelegt. Ziel war es, aus einer Vielzahl von Beiz- und Fungizidmaßnahmen die besten Kombinationen herauszufinden.

Material und Methoden

Das Versuchsprogramm umfaßte 4 Beiz- und 14 Fungizidvarianten, wobei jede Fungizidmaßnahme in allen 4 Beizvarianten durchgeführt wurde. Damit ergaben sich also insgesamt 56 Prüfglieder. Diese sind in Tabelle 9 beschrieben. Das verwendete Saatgut gehörte der Sorte Amiga an und hatte einen Ausgangsbefall von 12 % Anthracnose.

Tabelle 9: Beiz- und Fungizidversuch 1997

Beizvarianten: ROVRAL UFB (= Carbendazim + Iprodion), 300 ml/100 kg LANDOR CT (= Fendioxinil + Difenconazol + Tebuconazol), 300 ml/100 kg SOLITÄR (= Fendioxinil + Tebuconazol + Cyprodinil) 200 ml/100 kg und 300 ml/100 kg

Fungizidvarianten: T 1 = 4-Blatt-Stadium; T 2 = 14 Tage nach T 1; T 3 = 21 Tage nach T 1; T 4 = 14 Tage nach T 2

Nr.	Fungizid	Wirkstoffe	Dosierung	Termine
1	ohne	(nur Beizung)		
2	HARVESAN + AMISTAR	Carbendazim + Flusilazol Azoxystrobin	1 l/ha + 0,8 l/ha	T 1
3	HARVESAN	Carbendazim + Flusilazol	1,2 l/ha	T 1 + T 3
4	AMISTAR	Azoxystrobin	1 l/ha	T 1 + T 3
5	ERIA	Difenconazol + Carbendazim	2 l/ha	T 1 + T 3
6	DISCUS	Kresoxim-methyl	0,5 kg/ha	T 1 + T 3
7	SWITCH	Cyprodinil + Fludioxonil	1 kg/ha	T 1 + T 3
8	HARVESAN	Carbendazim + Flusilazol	1 l/ha	T 1
	HARVESAN	Carbendazim + Flusilazol	1 l/ha	T 2
	ERIA	Difenconazol + Carbendazim	2 l/ha	T 4
9	ALTO 100 SL + BRAVO 500	Cyproconazol Chlorthalonil	0,8 l/ha 1,6 l/ha	T 1 + T 3
	FOLICUR + BRAVO 500	Tebuconazol Chlorthalonil	1,25 l/ha 1,6 l/ha	T 1 + T 3
11	MATADOR	Tebuconazol + Triadimenol	1 l/ha	T 1 + T 3
12	PRONTO	Tebuconazol + Fenpropidin	1 l/ha	T 1 + T 3
13	PRONTO + BRAVO 500	Tebuconazol + Fenpropidin Chlorthalonil	1 l/ha 1 l/ha	T 1 + T 3
	JUWEL	Epoxiconazol + Kresoxim-methyl	1 l/ha	T 1 + T 3

In den Versuch wurde eine zusätzliche Amiga-Variante aufgenommen. Dabei handelte es sich um Saatgut, welches im Jahr 1996 durch wiederholte Spritzung von „Harvesan“ anthracnosefrei gehalten wurde. Das in 1997 ausgesäte Saatgut wurde nicht gebeizt und es wurde keine Fungizidspritzung vorgenommen.

Der Feldplan des Versuchs ist in Tabelle 10 dargestellt. Um die Beeinflussung wirksamer Varianten von weniger wirksamen Nachbarparzellen zu minimieren, wurde eine Spaltanlage gewählt. Die Beizvarianten wurden in Längs-, die Fungizidvarianten in Quer-richtung gelegt. Zwischen den drei Wiederholungen der verschiedenen Varianten war in beiden Richtungen ein unbewachsener Trennstreifen unterschiedlicher Breite. Die gänzlich unbehandelte Kontrolle wurde an das östliche Ende des Versuchs (entgegen der Haupt-Windrichtung) gelegt und zusätzlich mit einem Amiga-Streifen mit schwachem Anthracnosebefall (maximal 1 %) abgetrennt.

Tabelle 10: Feldplan des Beiz- und Fungizidversuchs 1997

O S T E N														
ROVRAL UFB			SOLITÄR 200 ml			SOLITÄR 300 ml			LANDOR CT					
4,5 m			2,5 m			4,5 m			1 m			4,5 m		
UK	UK	UK		UK	UK	UK		UK	UK	UK		UK	UK	UK
						2,5 m								
AM	AM	AM		AM	AM	AM		AM	AM	AM		AM	AM	AM
R 1	R 1	R 1		S1/1	S1/1	S1/1		S2/1	S2/1	S2/1		L 1	L 1	L 1
R 2	R 2	R 2		S1/2	S1/2	S1/2		S2/2	S2/2	S2/2		L 2	L 2	L 2
analog weiter mit Fungizidvarianten 3 bis 11														
R 12	R 12	R 12		S1/12	S1/12	S1/12		S2/12	S2/12	S2/12		L 12	L 12	L 12
R 13	R 13	R 13		S1/13	S1/13	S1/13		S2/13	S2/13	S2/13		L 13	L 13	L 13
R 14	R 14	R 14		S1/14	S1/14	S1/14		S2/14	S2/14	S2/14		L 14	L 14	L 14
AM	AM	AM		AM	AM	AM		AM	AM	AM		AM	AM	AM
AM	AM	AM		N AM	N AM	N AM		N AM	N AM	N AM		AM	AM	AM
W E S T E N														

R, S, L: Beiz-, 1 bis 14: Fungizidvarianten; AM: Rand Amiga; N AM: gesundes Saatgut aus '96

Zur Auswertung der Versuche wurde der Blühbeginn, der Samenertrag und der Anthracnosebefall ermittelt. Letzterer wurde zu 2 Terminen bonitiert, nämlich bei Blühende (01. Juli) und kurz vor der Ernte (21. August).

Ergebnisse

Das Jahr 1997 war in Rastatt geprägt durch sehr feuchte Witterung und damit durch ideale Bedingungen für die Ausbreitung der Anthracnose. Die ungebeizte und ungespritzte Kontrolle brachte absolut keinen Ertrag. Zur Ernte standen dort nur die Stengel ohne jeglichen Hülsenbesatz.

Tabelle 11: Beiz-/Fungizidversuch 1997. Wirkung der Beizmittel (Mittel aus 14 Fungizidvarianten)

Beizmittel	Ertrag %	Ertrag dt/ha	Blühbeginn	Anthr. 1	Anthr. 2
ROVRAL UFB	100	9,5	29.05.	3,7	6,7
SOLITÄR 200ml	114,9	10,9	31.05.	3	6,1
SOLITÄR 300ml	109,9	10,4	01.06.	3,3	6,9
LANDOR CT	57,1	5,4	01.06.	4,5	7,9
GD 5 %	68	3,1	0,5	1,2	1,1

Tabelle 12: Beiz-/Fungizidversuch 1997. Wirkung der Fungizide (Mittel aus 4 Beizvarianten)

Fungizid (e)	Ertrag %	Ertrag dt/ha	Anthr. 1	Anthr. 2
ohne + Rovral UFB	100	4,6	6,3	6,3
ohne + Sol. 200ml	244,2	11,2	3,7	6,7
ohne + Sol. 300ml	70,9	3,3	5,7	8
ohne + Landor CT	33,1	1,5	7	8,3
Harv.+Amistar	313	14,4	2,7	5,5
Harvesan	156,5	7,2	6,1	6,8
Amistar	246,7	11,35	3,6	5,9
Eria	139,1	6,4	3,9	7,3
Discus	78,8	3,6	4,7	8,3
Switch	213	9,8	3,1	6,7
Harv, Harv.+Eria	237	10,9	2,9	6,4
Alto + Bravo	249,5	11,5	2,8	6,4
Folicur + Bravo	305,4	14	2,5	5,8
Matador	154,9	7,1	3,2	7,4
Pronto	140,8	6,5	4,2	8,1
Pronto + Bravo	187,5	8,6	3,3	7,7
Juwel	217,4	10	3,3	7,4
Gesundes Saatgut*)	425	19,6	1,5	3,8
GD 5 %	68	3,1	1,2	1,1

*) AMIGA, 1996: 6mal mit HARVESAN behandelt, 1997: Saatgut ungebeizt, keine Fungizidbehandlung

Betrachtet man die Wirkung der Beizmittel im Mittel der 14 Fungizidvarianten (Tabelle 11), so stellen sich "Rovral UFB" und die beiden „Solitär“-Dosierungen mehr oder weniger gleich gut dar, während „Landor CT“ deutlich schlechter abschneidet. Beim Vergleich des Blühbeginns werden die durch die azolhaltigen Produkte verursachten Wachstumsverzögerungen im Vergleich zum „Rovral UFB“ deutlich.

In Tabelle 12 sind die Wirkung der Beizmittel ohne Fungizideinsatz und die Wirkung der Fungizidvarianten im Mittel der 4 Beizvarianten dargestellt. Beim direkten Vergleich

der Beizmittel schneidet „Solitär“ in der niedrigen Aufwandmenge am besten ab. Das schlechte Abschneiden der höheren Konzentration könnte durch phytotoxische Probleme verursacht sein.

Tabelle 13: Beiz-/Fungizidversuch 1997. Wirkung der Fungizide innerhalb einer Beizvariante (Mittel aus 14 Fungizidvarianten)

Beizmittel	Ertrag %	Ertrag dt/ha	Blühbeg.	Anthr. 1	Anthr. 2
ROVRAL UFB	100	4,6	29.05.	6,3	6,3
ROV.+Fungizide	214	9,8	29.05.	3,5	6,7
SOLITÄR 200ml	100	11,2	31.05.	3,7	6,7
SOL.200 + Fungizide	97,3	10,9	31.05.	2,9	6,1
SOLITÄR 300ml	100	3,3	02.06.	5,7	8
SOL.300 + Fungizide	331,7	10,9	01.06.	3,1	6,8
LANDOR CT	100	1,5	01.06.	7	8,3
LAN. + Fungizide	380	5,7	01.06.	4,3	7,9

Im Mittel der Beizvarianten liegen folgende Fungizide und Fungizidkombinationen an der Spitze: „Harvesan“ + „Amistar“, „Folicur“ + „Bravo 500“, „Alto 100 SL“ + „Bravo 500“, „Amistar“. Zwischen diesen besteht - statistisch gesehen - kein Unterschied in der Wirksamkeit. Im Mittel der Beizvarianten wird durch den Einsatz der Fungizide keine Ertragsverbesserung im Vergleich zur besten Beizvariante ohne Fungizide erzielt. Den absolut höchsten Ertrag erreichte die unbehandelte Variante mit gesundem Saatgut.

Tabelle 14: Die besten Kombinationen von Beizmitteln und Fungiziden im Feldversuch 1997 (*L. albus* cv. *Amiga*)

Beizmittel	Fungizide	Ertrag dt/ha	Ertrag%
Rovral UFB	ohne	4,6	100,0
Rovral UFB	Folicur + Bravo 500	21,3	463,7
Rovral UFB	Harvesan + Amistar	20,0	434,1
Solitär 200 ml	Alto 100 SL + Bravo 500	17,1	371,6
Solitär 200 ml	Folicur + Bravo 500	17,0	368,9
Solitär 300 ml	Harvesan, Harv. + Eria	16,1	350,7
Gesundes Saatgut			
ohne	ohne	19,6	425,0

Die Tatsache, daß die Wirkung guter Beizmittel kaum noch durch einen zusätzlichen Fungizideinsatz zu verbessern ist, läßt sich mit den Daten der Tabelle 13 unterstreichen. Je wirksamer ein Beizmittel ist, desto geringer ist der durch die Fungizidmaßnahmen erzielte Ertragszuwachs. Der Befall mit Anthracnose kann dagegen noch weiter reduziert

werden, wie vor allem aus den Bonituren des ersten Termins hervorgeht.

Wenn auch die Wirkung der Maßnahmen im Mittel jeweils von Beizmitteln oder Fungiziden eher moderat ist, so gibt es doch einzelne hervorragende Einzelvarianten, die in Tabelle 14 aufgelistet sind. Bemerkenswert sind vor allem die Kombinationen von „Rovral UFB“ mit „Folicur“ + „Bravo 500“ und mit „Harvesan“ + „Amistar“, sowie die bereits erwähnte Variante aus gesundem Saatgut.

Diskussion, Schlußfolgerungen und Ausblick zur Bekämpfung der Anthracnose mit chemischen Mitteln

Für den Lupinenanbau in der breiten landwirtschaftlichen Praxis scheint die Saatgutbehandlung mit einem effizienten Beizmittel die einfachste und sicherste Möglichkeit der direkten Anthracnosebekämpfung. Aus unseren Versuchen kristallisierte sich die Wirkstoffkombination von Iprodion und Carbendazim als der beste Kompromiß zwischen Wirksamkeit und Beeinflussung des Keimlings heraus. Dies steht in Übereinstimmung mit Ergebnissen aus Frankreich (Gondran et al., 1994) und Australien (Thomas und Sweetingham, 1998). Leider wird das entsprechende Präparat, „Rovral UFB“, ab 1999 nicht mehr zur Verfügung stehen, da der Hersteller dessen Produktion einstellen wird.

Der Einsatz von Fungiziden kann ertragliche Wirkung haben, vor allem, wenn keine oder unzureichend wirksame Beizmittel verwendet wurden. Besondere Bedeutung haben die Fungizide aber für die Saatgutproduktion, weil hierdurch ein möglicher Anthracnosebefall eliminiert werden kann, wie der Rastatter Versuch mit dem „Harvesan“-geschützten Saatgut gezeigt hat. Wichtig ist aber, daß die erste Fungizidmaßnahme frühzeitig, d. h. im 4- bis 6-Blatt-Stadium erfolgt. Spritzungen nach Sichtbarwerden der ersten Symptome können die Ausbreitung des Pilzes bestenfalls für kurze Zeit unterbrechen. Aus Sicherheitsgründen sollte die Spritzung mindestens einmal nach etwa 3 Wochen wiederholt werden.

Bei der Bewertung der oben beschriebenen Versuche muß berücksichtigt werden, daß das verwendete Saatgut einen sehr hohen Ausgangsbefall hatte. Derartig verseuchtes Saatgut würde in der Praxis nicht zur Aussaat kommen. Geht man davon aus, daß der Befall von Vermehrungssaatgut unter 1 % liegt, so könnte dieser geringe Befallsgrad durch die genannten chemischen Maßnahmen auf Null oder fast Null Prozent reduziert werden.

Im Juli 1998 wird das neue Pflanzenschutzgesetz in Kraft treten. Danach werden Pflanzenschutzmittel nur noch in den Kulturarten eingesetzt werden dürfen, für die sie zugelassen wurden. Im Rahmen einer „Lückenindikation“ wird es möglich sein, Anwendungslücken zu schließen. Für den Problembereich „Anthracnosebekämpfung bei Lupinen“ werden 1998 im Auftrag der Biologischen Bundesanstalt folgende Pflanzenschutzmittel

mehrfach geprüft:

- Beizmittel: „Prelude UW“, „Solitär“ und „RPA 80524 F“
- Fungizide: „Amistar“, „Folicur“, „Harvesan“, „Juwel“.

Nach Abschluß der Prüfungen werden möglicherweise einige dieser Präparate für die Anthracnosebekämpfung zur Verfügung stehen. Der Einsatz weiterer Mittel wird dann aufgrund der gesetzlichen Neuregelung nicht mehr möglich sein.

Resistenzzüchtung

Der beste Weg zur Überwindung des Anthracnose-Problems wäre der Anbau resistenter Sorten, sofern es denn welche gäbe.

Ein umfangreiches Evaluierungsprogramm, welches von australischen Züchtern in Neuseeland durchgeführt und von staatlicher Seite mit 100.000 \$ unterstützt wurde, zeigte, daß es insgesamt große genetische Unterschiede hinsichtlich der Anfälligkeit für Anthracnose gibt (Sweetingham et al., 1998/2). Vor allem innerhalb der für Australien bedeutendsten Lupinenart, der Schmalblättrigen („Blauen“) Lupine (*L. angustifolius*) konnten große Sortenunterschiede bis hin zur Resistenz gefunden werden. Weniger groß waren die Unterschiede bei Weißen und Gelben Lupinen.

Im Rahmen einer Resistenzprüfung wurden in Rastatt als „resistent“ oder „tolerant“ charakterisierte Genotypen von Weißen Lupinen (*L. albus*) aus anderen Ländern angebaut. Allerdings überlebte keiner von diesen den Befallsdruck unter den Rastatter Bedingungen des Jahres 1997. Das „resistente“ Material aus Australien wird 1998 in Rastatt geprüft.

Die unterschiedliche Ausprägung der Resistenz bzw. Toleranz eines Genotyps an verschiedenen Standorten könnte damit zu erklären sein, daß es an den jeweiligen Orten unterschiedliche Erregerrassen gibt. Wenn dies nach den Untersuchungen der Biologischen Bundesanstalt Berlin nicht der Fall wäre, dann könnte es sich um eine Stadienresistenz handeln. Dies bedeutet, daß der Lupinengenotyp in einer anderen Umwelt zu einem anderen, möglicherweise sensibleren Entwicklungsstadium vom Schaderreger angegriffen wird und dann die in der ursprünglichen Umwelt gezeigte Toleranz hier nicht bestätigt.

Neben der klassischen Resistenzzüchtung könnte möglicherweise auch mit Hilfe der genetischen Transformation eine Lösung des Problems erfolgen. Allerdings existiert bisher nur bei Schmalblättrigen und Gelben, nicht jedoch bei Weißen Lupinen ein Transformationsprotokoll und die Frage, welche Gene zur Anthracnosebekämpfung eingeführt werden könnten ist gänzlich unbeantwortet.

Dank

Frau Dr. Gippert (Landespflanzenchutzamt Magdeburg) danke ich an dieser Stelle

für die Auswertung von Beizversuch 2 des Winters 1996/97, sowie Herrn Joachim Bayer (Saatzucht Hege) für die Durchführung der Keimprüfung von Beizversuch 1 derselben Serie. Herrn Professor Dr. Leist (LUFA Augustenberg) und seinen Mitarbeiter/innen danken wir für die Unterstützung bei der Durchführung des Agarplattentests. Der Beiz- und Fungizidversuch des Jahres 1997 wurde mit finanzieller Unterstützung der Europäischen Union (DG VI F.II.3, Vertrag Nr. FAIR3 - CT96-1965) durchgeführt, wofür wir an dieser Stelle danken.

Literatur

- Feiler, U. (1997). Persönliche Mitteilung. Biologische Bundesanstalt, Institut für Mikrobiologie, Berlin.
- Gondran, J., Pacault, D. und Pissard, M.-F. (1996). Anthracnose susceptibility of white lupin and disease control by chemicals. Preliminary results. Abstracts of the 8th Int. Lupin Conf., Pacific Grove, California, USA
- Gondran, J., Bournoville, R. und Duthion, C. (1994). Identification of diseases, pests and physical constraints in white lupin. INRA Editions, Versailles, France.
- Jones, M.G.K. (1997). Persönliche Mitteilung. Murdoch University, Plant Biotechnology, Perth, Australien
- Sweetingham, M., Thomas, G., Yang, H. und Shea, G. (1988/1). Anthracnose - the pathogen, epidemiology and the management package. In.: Shea, G. (Hrsg.): Highlights of lupin research and development in Western Australia 1998, 5 - 7
- Sweetingham, M.W., Cowling, W.A., Buirchell, B. und Brown, A.G.P. (1998/2). Screening lupins for resistance to anthracnose in New Zealand
- Thomas, G. und Sweetingham, M. (1998). Fungicide seed dressings for lupin anthracnose. In.: Shea, G. (Hrsg.): Highlights of lupin research and development in Western Australia 1998, 5 - 7

Anthracnose an Lupinen - Überblick bisheriger Forschungsergebnisse

Uta Feiler

Biologische Bundesanstalt für Land - und Forstwirtschaft

Institut für Mikrobiologie

Königin-Luise-Str. 19

14195 Berlin

Zusammenfassung

Es wird eine Ergebnisübersicht vorgestellt aus Saatgutuntersuchungen, Vegetationsversuchen sowie Untersuchungen zur Biologie und Morphologie von *Colletotrichum*, dem Erreger der Lupinenanthracnose. Die Untersuchungen wurden zur Vorbereitung eines Forschungsprojektes zur Entwicklung eines Saatgutschnelltests durchgeführt, um die Diagnose des Schaderregers an Lupinensaatgut sicher zu ermöglichen und damit eine weitere Verbreitung der Krankheit mittels Saatgut einzudämmen. Die Übersicht vermittelt einen Einblick was bei Saatgutuntersuchungen auf *Colletotrichum*-Befall zu beachten ist, wie und an welchen Pflanzenteilen der Erreger im Bestand lokalisiert werden kann und macht Aussagen zur Spezifität des Erregers von Lupinen im Vergleich zu *Colletotrichum*-Isolaten anderer Wirtspflanzen.

Abstract

The article gives an overview on results of seed tests, plot trials and investigations on the biology and morphology of the fungus *Colletotrichum* isolated from lupins. The trials are carried out as a base for a quick seed test to detect *Colletotrichum* on lupin seeds. The survey shows the important parameters for seed tests and how and on which parts of the lupin plants the fungus can be localized in the field. In addition, details are given on the specificity of the fungus from lupins in comparison to *Colletotrichum*-isolates from other hosts.

Key words: *Colletotrichum* spp.; lupins, seed tests, plot trials, biology and morphology of *Colletotrichum*

Einleitung

Bereits im Jahre 1994 wurde auf die Krankheit "Anthracnose" an Lupinen in Deutschland als ein ernstzunehmendes Problem verwiesen. Die Mykose ist seit 1914 in Lateinamerika als Lupinenkrankheit bekannt. Der Erreger ist samenbürtig und demzufolge kommt der Übertragung mittels Saatgut besondere Bedeutung zu. Durch Saatgutimporte konnte die Krankheit von Lateinamerika nach Europa eingeschleppt werden. Obwohl der an Lupinen vorkommende Erreger der Anthracnose, der der Gattung *Colletotrichum*

(*Deuteromycetes*) zuzuordnen ist, vor allem in tropischen und subtropischen Gebieten beheimatet und demzufolge wärmeliebend ist, kam es durch günstige Witterungsbedingungen und regen Saatguttransfer zu einer Etablierung und schnellen Verbreitung in Europa (Abb. 1). Von Europa aus ist die Krankheit wiederum durch Saatgutexporte nach Australien verschleppt worden (Cowling et al., 1996).

Die wirtschaftliche Bedeutung der Krankheit wird deutlich an einem Beispiel von Brasilien. Erstmals 1982 aufgetreten, mußte die Lupinenanbaufläche in einer Region innerhalb von zwei Jahren durch diese Krankheit von 50 000 ha auf 10 ha eingeschränkt werden (Frey, 1985).

Ertragsausfälle durch Anthracnose werden aus vielen Anbaugebieten gemeldet und zwischen 50 und 100% angegeben (Sameneichuk, 1996; Kurtz & Köppl, 1994). Die Ausbreitung der Krankheit hat in Österreich dazu geführt, daß der Anbau von Lupinen in Frage gestellt ist (Kurtz & Köppl, 1994).



Abb. 1: Ausbreitung der Anthracnose an *Lupinus spp.*, mit Blickpunkt Europa

Die schnelle Ausbreitung des Erregers, die enormen Verluste und die damit in Verbindung stehende Anbauefährdung lassen erkennen, daß es notwendig ist, schnell etwas gegen die Krankheit zu unternehmen. Das Fehlen resistenter Lupinensorten und effektiver Bekämpfungsmethoden komplizieren eine rasche Eindämmung der Krankheit.

Solange keine Methode vorhanden ist, mit welcher *Colletotrichum* am Saatgut sicher und in geringer Menge lokalisiert werden kann, ist es nicht möglich, eine exakte Diagnose durchzuführen oder die Ausbreitung der Anthracnose mittels Saatgut zu verhindern (Abb. 2).

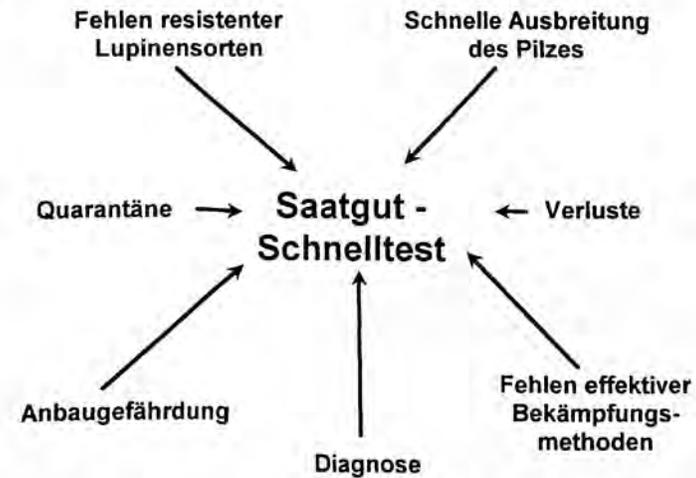


Abb. 2: Übersicht zur Notwendigkeit der Entwicklung effektiver, genauer Saatgutuntersuchungsmethoden zur Detektion von *Colletotrichum* an Lupinensaatgut

Ein mehrjähriges Forschungsprogramm befaßt sich daher mit der Entwicklung eines Saatgutschnelltests zur Detektion von *Colletotrichum* an Lupinensaatgut. Die folgenden Ausführungen geben einen Überblick der Ergebnisse der Projektvorbereitungsphase.

Untersuchungsprogramm

Die durchgeführten Untersuchungen teilen sich in folgende Bereiche auf:

1. Saatgutuntersuchungen
2. Vegetationsversuche
3. Untersuchungen zur Biologie und Morphologie des Erregers

Mit dem Untersuchungsprogramm der Vorbereitungsphase sind Aussagen zu:

- Infektionsmechanismen
 - dem Krankheitsbefall an *Lupinus* und die Krankheitsausbreitung
 - dem Besatz verschiedener Saatgutchargen mit dem Erreger der Krankheit und
 - der Biologie und Morphologie des Erregers
- erwartet worden, um eine effektive Projektvorbereitung zu gewährleisten.

Saatgutuntersuchungen

Ziel:

- Feststellung des Schaderregerbesatzes verschiedener Saatgutchargen
- Isolation des Erregers
- Testung verschiedener Oberflächensterilisationsverfahren, Nährmedien, Anzuchtbedingungen
- Nutzung des ELISA-Tests für Saatgutuntersuchungen an Lupinen

Untersuchungsmaterial:

- 33 Saatgutchargen von *Lupinus albus*
- 6 Saatgutchargen von *Lupinus luteus*
- 4 Saatgutchargen von *Lupinus angustifolius*

Die Saatgutchargen sind von Züchtungsbetrieben und von Pflanzenschutzdiensten bereitgestellt worden und umfassen unterschiedliche Herkünfte.

Ein Befall mit *Colletotrichum* trat sowohl am Saatgut von *Lupinus albus* als auch am Saatgut von *L. luteus* und *L. angustifolius* auf. Aufgrund der höheren Anzahl von *L. albus*-Saatgutproben war das Auftreten des Erregers entsprechend häufiger und umfaßte 66,7 % aller untersuchten *L. albus*-Chargen. Eine visuelle Einschätzung des Saatgutes auf *Colletotrichum*-Befall führte nicht zu realistischen Ergebnissen, da scheinbar makellooses Saatgut auch einen hohen Besatz mit *Colletotrichum* aufweisen kann, deformiertes und fleckiges dagegen mit wenig *Colletotrichum* befallen sein kann. So wiesen beispielsweise Saatgutproben mit einem Anteil fleckiger und verfärbter Körner zwischen 20 % und 30 % keinen Befall mit dem Erreger der Anthracnose auf. Bei anderen Saatgutproben mit dem gleichen Anteil an Körnern mit Flecken und Verfärbungen lag der *Colletotrichum*-Befall jedoch bei 75 - 95 %.

Bei allen untersuchten Saatgutpartien war eine hohe Anzahl von Körnern mit Pilzauswuchs vorzufinden (oftmals zwischen 70 und 100 %). Häufig waren die Pilzgattungen *Penicillium*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Aspergillus* und *Phoma* identifizierbar.

Besonders auf nährstoffreichen Medien, wie Kartoffeldextrose- und Biomalzagar überwachsen schnellwüchsige oder dunkelgefärbte Pilze, die unter den oben aufgeführten Gattungen vielfach zu finden sind, rasch das Samensamen und erschweren eine Befallsbonitur auf *Colletotrichum*. Nährstoffreiche Medien sind daher für eine Untersuchung des Saatgutes auf Besatz mit dem Anthracnose-Erreger wenig geeignet.

Das Boniturmerkmal "orange/rosa Konidienlager" ist für die Feststellung eines *Colletotrichum*-Befalls am Saatgut von Lupinen ebenfalls wenig geeignet, da auch noch eine Reihe anderer Pilzarten, wie z.B. *Fusarium*-Arten solche gefärbten Konidienlager ausbilden und eine exakte Bonitur die Anfertigung von mikroskopischen Präparaten erfordert.

Außerdem können solche Konidienlager ebenfalls von anderen Pilzen überwachsen und nicht mehr erkennbar sein. Als Boniturmerkmal wird daher die mikroskopische Bonitur auf das Vorhandensein von Appressorien des Pilzes als sicherstes Erkennungsmerkmal mit geringen Verwechslungsmöglichkeiten empfohlen. Die Ausbildung dieses Merkmals erfordert keine spezielle Belichtung der Proben und stellt daher eine preiswerte Variante dar.

Da der Erreger der Anthracnose oftmals tief im Sameninneren lokalisiert ist, reicht eine Boniturzeit von 7 - 8 Tagen meist nicht aus, um ein Auswachsen des Erregers zu gewährleisten.

Tabelle 1: Zusammenfassung der durchgeführten Saatgutuntersuchungen und ihrer Ergebnisse

Ausgeführte Arbeiten	Ergebnisse
Makroskopische Bonitur des Saatgutes	Deformationen und Flecken am Saatgut korrelieren häufig nicht mit dem <i>Colletotrichum</i> -Befall
Oberflächensterilisation der Samen	häufig weniger Auswuchs von <i>Colletotrichum</i>
Testung verschiedener Temperaturbereiche für den Auswuchs von <i>Colletotrichum</i> aus den Körnern	höhere Temperaturen (22°C) sind geeignet für ein schnelles Auswachsen des Pilzes
Vergleich verschiedener Boniturzeiten	7 oder 8 Tage reichen oft nicht aus um einen Auswuchs des Pilzes aus dem Sameninneren zu gewährleisten
Vergleich verschiedener Boniturmerkmale	Erfassung des Pilzes anhand der Konidienlager oder anhand von Flecken an den Cotyledonen führt oft zu Fehleinschätzungen Bonitur der Appressorien erlaubt eindeutige Identifizierung
Vergleich verschiedener Nährmedien	nährstoffreiche Medien weniger geeignet
Vergleich unterschiedlicher Belichtungsvarianten	bei Nutzung des Merkmals Appressorien, ist die preiswerte Variante der Dauerdunkelhaltung anwendbar
Untersuchung von gebeiztem Saatgut	Deformationen und langsames Auswachsen des Erregers beobachtet

Um den Konkurrenzdruck mit Besiedlern der Samenschale zu verringern sowie vor allem den endogenen Befall der Samen mit *Colletotrichum* zu erfassen ist eine Oberflächensterilisation des Saatgutes (z. B. mit Natriumhypochlorid bzw. Danchlorix) angeraten.

Schwierig ist die Bonitur des Anthracnose-Erregerbefalls bei gebeiztem Saatgut, da *Colletotrichum* durch Beizmittel im Wachstum behindert sowie teilweise zerstört sein kann. Eine besonders sorgfältige Bonitur ist daher bei solchen Saatgutchargen notwendig, damit der Erreger trotz Deformationen identifiziert wird.

Die Testung des englischen Serums zur Detektion von *Colletotrichum accutatum* (Cook et al., 1995) wurde in Zusammenarbeit mit Dr. R. Cook, Central Science Laboratory, England, durchgeführt. Am Saatgut hat dieser ELISA-Test keine Ergebnisse bezüglich des mit *Colletotrichum* befallenen Saatgutes gebracht. Einerseits hemmt das Lupineneiweiß den Test, andererseits wird für diesen Test das Vorhandensein von Konidien vorausgesetzt. Im Saatgut liegt der Pilz jedoch nicht im Konidienstadium vor, so daß ein vorheriges Auswachsen des Pilzes und nachfolgendes Sporulieren erforderlich sind. Demnach ist der derzeitige Test nicht für die Untersuchung von Lupinensaatgut geeignet.

Tabelle 1 faßt die wesentlichen Ergebnisse der Saatgutuntersuchungen zusammen.

Parzellenfeldversuche

Ziel:

- Beobachtung der Ausbreitung des Erregers im Bestand
- Aufnahme der Symptombilder zu unterschiedlichen Boniturterminen
- Re-Isolation des Erregers

Entsprechend Abbildung 3 sind Kleinparzellenfeldversuche angelegt worden. Neben *Lupinus albus* sind weiterhin je eine Parzelle mit *Lupinus luteus* und *Lupinus angustifolius* -beides Sorten ohne festgestellten *Colletotrichum*-Besatz am Saatgut - ausgesät worden.

Wie in der Abbildung 4 deutlich wird, waren alle Varianten (einschließlich der Parzellen mit *L. luteus* und *L. angustifolius*) mit *Colletotrichum* befallen. Da am verwendeten Saatgut der Kontrollvariante kein Befall festgestellt werden konnte, wirft dieser Befall vor allem die Frage nach der Verbreitung des Erregers auf. Möglich wäre eine Verbreitung mittels Wind oder Vögeln, da eine Ausbreitung über den Boden aufgrund größerer Entfernung der Parzellen sowie deren Steineinfassung, auszuschließen ist.

Bereits 4 Wochen nach Aufgang der Pflanzen machte sich ein *Colletotrichum*-Befall an den Triebspitzen und den Seitentrieben einzelner Pflanzen bemerkbar und breitete sich rasch weiter im Bestand aus. Interessant ist, daß diese ersten Symptome nicht als typische Anthracnosesymptome erkennbar waren und demzufolge ein früher Befall in Feldbeständen sicherlich oftmals übersehen wird. Auch bei fortgeschrittener Vegetations-

zeit wurde keine für die Anthracnose als kennzeichnendes Merkmal beschriebene Stengelverdringung an den Pflanzen festgestellt. Der Erreger konnte nicht aus Stengelgrund und Wurzel isoliert werden, sondern am Häufigsten aus Samen und Hülsen.

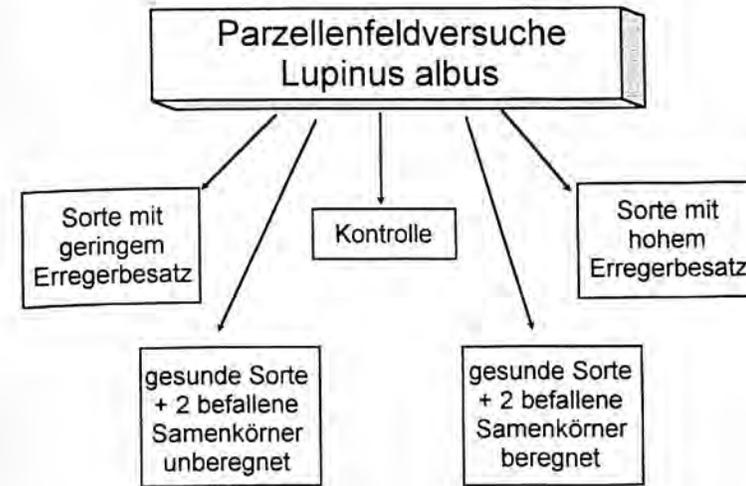


Abbildung 3: Übersicht über die angelegten Parzellenfeldversuche

Die Abbildungen 5 - 11 vermitteln einen Eindruck unterschiedlicher Befallsbilder und machen deutlich, daß kranke Pflanzen, vor allem in einem frühen Befallsstadium leicht im Bestand zu übersehen und dadurch Fehleinschätzungen über den Gesundheitszustand der Flächen möglich sind.

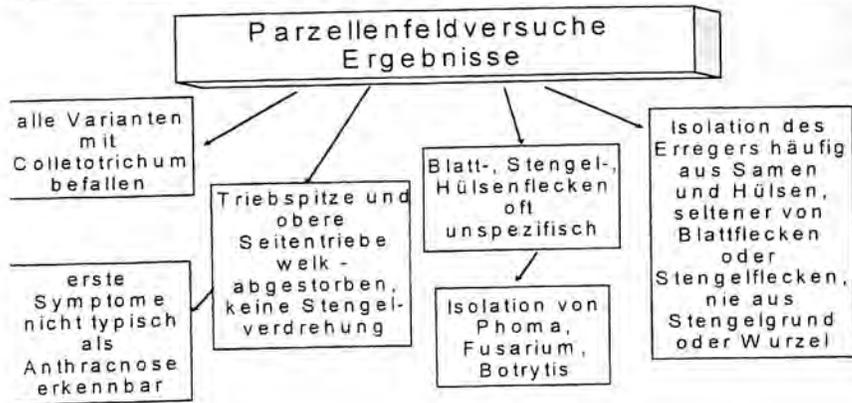


Abbildung 4: Übersicht über die Ergebnisse der Parzellenfeldversuche



Abbildung 5: Gesunde Weißlupinenpflanze

Abbildung 6: Anthracnose an *L. albus* - verkürzter Trieb und Verkümmern der TriebspitzeAbbildung 9: Welkende, triebverkürzte Pflanzen von *L. luteus*Abbildung 8: Totalausfall durch Anthracnose bei *L. albus*Abbildung 7: Deutliche Wachstums-hemmungen bei *L. albus* durch AnthracnoseAbbildung 10: Stauchung der Sproß-achse und welkende Blätter durch *Colletotrichum* an *L. angustifolius*

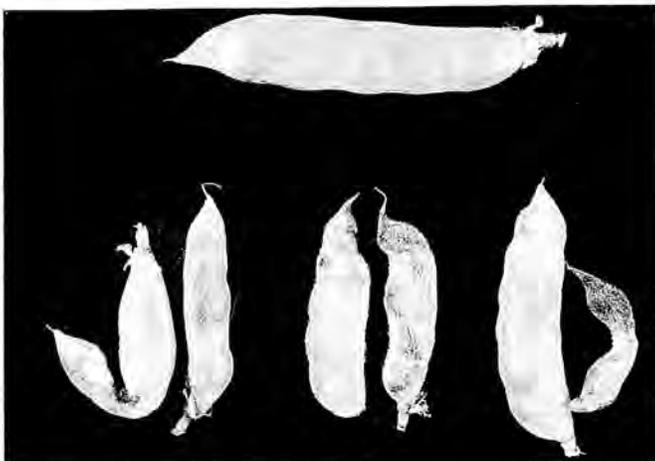


Abbildung 11: Oben - gesunde Hülse; unten - mit *Colletotrichum* befallene Hülsen

Untersuchungen zur Biologie und Morphologie des Erregers

Ziel:

- Isolation des Erregers
- Anlegen einer *Colletotrichum*-Stammsammlung verschiedener Wirte und Herkünfte
- Abgrenzung der *Colletotrichum*-Arten verschiedener Wirtspflanzen bzw. Lupinenarten
- Morphologische Untersuchungen der Isolate

Um den Erreger der Lupinenanthracose bezüglich Spezialisierung auf die verschiedenen Lupinenarten- und Sorten charakterisieren zu können, sind aus Lupinenpflanzen sowie Lupinensaatgutproben verschiedener Herkünfte Reinisolate des Pilzes gewonnen worden. Außerdem wurden verschiedene *Colletotrichum*-Arten (vor allem *C. acutatum* und *C. gloeosporioides*), für Vergleichszwecke mit dem Lupinenerreger, aus anderen Wirtspflanzen isoliert.

Aus den verschiedenen Isolaten ist eine Stammsammlung mit *Colletotrichum* spp. verschiedenster Herkünfte angelegt worden. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Vielzahl der Wirtspflanzen und Herkünfte von *Colletotrichum*-Isolaten.

Tabelle 2: Stammsammlung von *Colletotrichum*-Isolaten

<i>Colletotrichum</i> -Art	Wirtspflanze	Herkunft
<i>Coll. bzw. Gloeosporium</i>	<i>Syringa</i> (Flieder)	Deutschland
<i>Colletotrichum</i> spec.	<i>Lupinus albus</i>	Deutschland
<i>Colletotrichum</i> spec.	<i>Lupinus luteus</i>	Deutschland
<i>Colletotrichum</i> spec.	<i>Lupinus angustifolius</i>	Deutschland
<i>Colletotrichum</i> spec.	<i>Musa</i>	
<i>Colletotrichum</i> acutatum	<i>Coffea arabica</i>	Kenya
<i>Colletotrichum</i> acutatum	<i>Cyclamen</i>	Deutschland
<i>Colletotrichum</i> acutatum	<i>Tulipa</i>	LBO, Lisse
<i>Colletotrichum</i> acutatum	<i>Vaccinium corymbosus</i>	Geldermalsen
<i>Colletotrichum</i> acutatum	<i>Primula</i>	LBO, Lisse
<i>Colletotrichum</i> acutatum	<i>Prunus cerasus</i>	PD Tiel
<i>Colletotrichum</i> acutatum	<i>Lupinus</i>	CT Tilburg
<i>Colletotrichum</i> acutatum	<i>Capsicum</i>	Indonesia
<i>Colletotrichum</i> acutatum	<i>Anemone</i>	Holland
<i>Colletotrichum</i> cf. trifolii	<i>Lupinus mutabilis</i>	Bolivia
<i>Colletotrichum</i> fragariae	<i>Fragaria ananassa</i>	USA, UK
<i>Colletotrichum</i>	<i>Sambucus</i>	Deutschland
<i>Colletotrichum</i>	<i>Citrus sinensis</i>	Africa, Thailand
<i>Colletotrichum</i>	<i>Phalaenopsis</i>	
<i>Colletotrichum</i>	<i>Vaccinium myrtillus</i>	Deutschland
<i>Colletotrichum</i>	<i>Hypericum</i>	Deutschland
<i>Colletotrichum</i>	<i>Mangifera indica</i> (Mango)	Thailand
<i>Colletotrichum</i>	<i>Lupinus polyphyllus</i> -	Deutschland, Berlin
<i>Colletotrichum</i>	<i>Limonium</i>	Zimbabwe
<i>Colletotrichum</i>	<i>Fragaria x ananassa</i>	Harpenden Lab.,
<i>Colletotrichum</i> musae	<i>Musa</i> (Banane)	Deutschland
<i>Colletotrichum</i> orbiculare	<i>Primula florindae</i>	Deutschland
<i>Colletotrichum</i> spec.	<i>Hypericum</i>	Deutschland

Folgende Arbeiten wurden mit den bisher isolierten bzw. in der Sammlung befindlichen Stämmen durchgeführt:

- Anzucht der verschiedenen *Colletotrichum*-Stämme auf verschiedenen Nährmedien
- Vergleich der *Colletotrichum*-Stämme von *Lupinus* und anderen Wirtspflanzen
- Aufnahme der mikroskopischen und makroskopischen Merkmalsausprägung
- Konidienmessungen
- Fotodokumentation

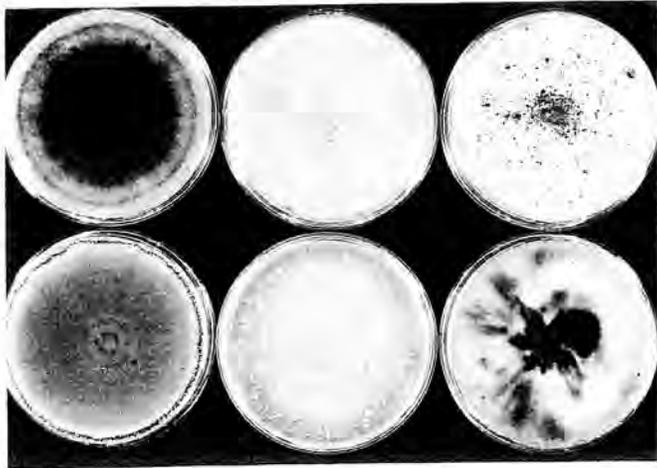


Abbildung 12: Plattenunterseite von *Colletotrichum*-Isolaten folgender Wirtspflanzen: oben - *Lupinus* - *Fragaria* - *Hypericum*; unten - *Vaccinium* - *Magnifera* - *Capsicum*

Entsprechend der makroskopischen Merkmalsausprägung lassen sich die Lupinenisolate von *Colletotrichum*-Isolaten anderer Wirtspflanzen meistens gut unterscheiden (Abbildung 12).

Die bisherigen Ergebnisse deuten an, daß sich die von Lupine isolierten *Colletotrichum*-Stämme morphologisch gut von einigen anderen Herkünften abgrenzen lassen. Sowohl mikroskopische als auch makroskopische Charakteristika sind für diese Abgrenzung geeignet.

Schlußbetrachtung

Mit den Ergebnissen der Vorbereitungsphase zum geplanten Projekt "Entwicklung einer Saatgutschnelltestmethode zur Detektion von *Colletotrichum* an Lupinensaatgut" konnten gute Voraussetzungen für eine erfolgreiche Realisierung dieses Projektes geschaffen werden. Eine klassische Saatgutuntersuchungsmethode kann auf der Grundlage der bisher durchgeführten Saatgutuntersuchungen in Kürze für die detaillierte Feststel-

lung des *Colletotrichum*-Befalls an Lupinensaatgut bereitgestellt werden. Damit kann eine einheitliche Grundlage für Saatgutuntersuchungen bei Pflanzenschutzämtern oder ähnlichen Einrichtungen gewährleistet und damit der Anthracnose-Befall an Lupinen in Deutschland besser eingeschätzt werden. Die Verbreitung der Krankheit mittels Saatgut kann dadurch erfolgreicher eingedämmt werden.

Aufgrund der zahlreichen Fragen, die sich aus den Vegetationsuntersuchungen ergeben sind Infektionsversuche unter kontrollierten Bedingungen in das Versuchsprogramm aufgenommen worden. An die bisherigen morphologischen Untersuchungen haben sich genetische Untersuchungen angeschlossen. Erste Ergebnisse davon unterstreichen die bisher getroffenen Aussagen und lassen eine rasche Entwicklung einer spezifischen DNA-Sonde zur Detektion von *Colletotrichum* an *Lupinus* erwarten.

Dank

Besonderer Dank gilt den Züchtungsbetrieben SZ Hege, Südwestdeutsche Saat-zucht, SZ Steinach und Gruse & Co sowie der Union zur Förderung der Öl- und Eiweiß-pflanzen für die finanzielle Unterstützung der Arbeiten und die Bereitstellung von umfangreichem Untersuchungsmaterial. Weiterhin möchte ich mich für die konstruktive Zusammenarbeit bei Frau Dr. H. Nirenberg, Frau U. Hopf-Guevara (Biologischen Bundesanstalt Berlin) und Dr. R. Cook (Central Science Laboratory, England) bedanken. Der Biologischen Bundesanstalt Berlin vielen Dank für die Bereitstellung eines Arbeitsplatzes sowie wertvollen Arbeitsmaterials.

Literatur

- Cook, R.; Barker, I.; Brewer, G.; Crossley, S.; Freeman, S.; Lane, C. (1995). Detection of strawberry black spot (*Colletotrichum acutatum*) with monoclonal antibodies. Bulletin OEPP/EPPO, 25, 57 - 63.
- Cowling, W. A.; Sweetingham, M. W.; Shivas, R. G. (1996). Anthracnose - The Australian Experience. Eighth International Lupin Conference, Pacific Grove, California, USA. Abstract Book.
- Frey, F. (1985). Pflanzenschutzprobleme beim Anbau von Lupinen in Südbrasilien. GTZ, 58 pp.
- Sameneichuk, N. S. (1996). Anthracnose of lupins in the Ukraine. Eighth International Lupin Conference, Pacific Grove, California, USA. Abstract Book.
- Kurtz, E.; Köppl, H. (1994). Die Anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) der Lupine. Saatbau Linz. 49 - 51.

Erste Ergebnisse zur Anthracnosebekämpfung bei Lupinen

Bärbel Dittmann

Lehr- und Versuchsanstalt für Integrierten Pflanzenbau e.V. Güterfelde
(ab 01.01.1998 Landesanstalt für Landwirtschaft des Landes Brandenburg,
Abteilung Acker- und Pflanzenbau)
Berliner Straße
14532 Güterfelde

Zusammenfassung

Auf der Basis der an 5 Standorten durchgeführten Versuche zur Anthracnosebekämpfung in Weißlupinen konnten in sehr kurzer Zeit wichtige Erkenntnisse zum Umgang mit dieser den Lupinenanbau gefährdenden Pilzkrankheit gewonnen werden. Durch die gezielte Beizung infizierten Saatgutes konnte der Befall deutlich verringert werden. Bei starkem Infektionsdruck erwies sich jedoch keines der getesteten Beizmittel als ausreichend wirksam. Gute Ergebnisse durch Beizung wurden mit Solitär, Landor CT, Rovral UFB und Prelude UW erreicht. Durch die zusätzlich zur Beizung durchgeführten Fungizidbehandlungen wurden häufig, aber nicht an allen Standorten, der Befallsgrad verringert und der Ertrag erhöht. Wichtig erscheint es, die Bekämpfung mit einer prophylaktischen Fungizidanwendung zu beginnen. Die Anwendung im 4-Blattstadium der Lupine erwies sich als günstig. Als wirksame Fungizide kristallisierten sich Amistar, Harvesan, Switch und Eria heraus, jedoch nicht einheitlich an allen Standorten. Da trotz dieser umfangreichen Untersuchungen viele Fragen nicht eindeutig beantwortet werden können, sollten die Versuche fortgesetzt werden.

Abstract

Based on trials to treat anthracnose in *Lupinus albus* on 5 study sites substantial knowledge could be gained how to deal with this threatening fungal disease of lupins. By treatment of the seeds with appropriate chemicals for seed dressing, a reduction of infection could be achieved. In case of strong infection, none of the chemicals provide a sufficient protection. Good results were obtained with Solitär, Landor CT, Rovral UFB, and Prelude UW. By additional treatment with fungicides the degree of infection could be lowered at most sites and yield increased. Anthracnose treatment should start with a prophylactic fungicide application, for example in the 4-leaf stage. Potent fungicides are

Amistar, Harvesan, Switch, and Eria, however, they failed in some study sites. Since many open questions remain these studies need to be continued.

Key Words: Lupins, anthracnose, seed treatment, fungicide

Einleitung

Die Bundesländer Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern sind mit fast 90 % der Lupinenanbaufläche die Hauptanbauer in der Bundesrepublik Deutschland. Von den ca. 40 T ha Anbauumfang Deutschlands 1996 entfielen 18 T ha auf das Land Brandenburg. Dabei ist die Gelblupine im Anbau dominant. Der Anbauumfang der Körnerleguminosen insgesamt im Land Brandenburg ist in der Tabelle 1 dargestellt. Die Lupine ist hier statistikbedingt in der Position andere Hülsenfrüchte enthalten, hat jedoch einen Anteil von ca. 94 % an den anderen Hülsenfrüchten. Der Lupinenanbau erfuhr nach einem starken Rückgang nach 1989 ab 1993 wieder eine deutliche Anbauerweiterung. Der Körnerleguminosenanbau teilt sich zu fast gleichen Teilen auf die Futtererbse und die Lupine im Land Brandenburg auf. Die Ackerbohne hat mit einem Anbauumfang von 1,8 T ha nur territorial begrenzt eine Bedeutung.

Da der Lupinenanbau seit dem Erstauftreten der Anthracnose 1996 ernsthaft gefährdet ist, erfolgten intensive Untersuchungen zu diesem Problem. Die Situation wird weiterhin dadurch verschärft, daß es für den Lupinenanbau keine amtlich zugelassenen Fungizide gibt. Hier muß auf dem Wege der Lückenindikation eine schnelle Lösung erreicht werden. Nachdem 1996 hauptsächlich Weißlupinenbestände von der Anthracnose betroffen waren, war in diesem Jahr auch ein starkes Auftreten dieser Pilzkrankheit in den Gelblupinenbeständen festzustellen. Deutlich wurde dieses Problem bei der diesjährigen Saatenanerkennung der Gelblupinenbestände im Land Brandenburg. Von den 750 ha Vermehrungsfläche mußten 42 % wegen Anthracnosebefalls aberkannt werden. Das Erstauftreten in den Feldbeständen wurde nach Angaben des Pflanzenschutzdienstes des Landes Brandenburg von Anfang Juni bis Mitte August festgestellt, häufig nach stärkeren Niederschlägen.

Tab. 1: Anbau von Körnerleguminosen (in T ha) im Land Brandenburg

	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Futtererbsen	2,9	6,1	4,1	8,1	13,3	18,8
Ackerbohnen	0,6	0,9	1,6	1,9	1,3	1,8
andere Hülsenfrüchte ¹⁾	1,8	7,0	7,3	13,5	19,3	18,5
Gesamt	5,3	14,0	13,0	23,5	33,9	39,1
Anteil an AF %	0,5	1,4	1,3	2,3	3,2	3,7

¹⁾ davon entfallen ca. 94 % auf den Lupinenanbau

Quelle: Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik

Material und Methoden

Aufgrund der Dringlichkeit, Lösungsansätze zur Bekämpfung der Anthracnose zu finden, erklärten sich folgende Institutionen kurzfristig bereit, 1997 an einem gemeinsamen, abgestimmten Versuch mitzuwirken:

- Dittmann, B.; Adam, L. Lehr- und Versuchsanstalt für Integrierten Pflanzenbau e.V. Güterfelde
- Müller, C. Landesamt für Ernährung und Landwirtschaft des Landes Brandenburg
Pflanzenschutzdienst, Waldstadt
- Römer, P. Südwestdeutsche Saatzucht, Rastatt
- Brunner, J. Hanse Agro GmbH, Aschach
- Dittrich, R. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Fachbereich Integrierter Pflanzenschutz, Dresden
- Heidel, W. Landespflanzenschutzamt Mecklenburg-Vorpommern
Außenstelle Neubrandenburg

Grundlage für die Erarbeitung der Versuchsvarianten bildeten dabei die Erfahrungen und ersten Testergebnisse aus dem Jahr 1996. In Güterfelde konnte durch eine Spätanwendung von Fungiziden zur Blüte der Weißlupinen in Anthracnosebefallenen Beständen einerseits nach einer anfänglichen Stoppwirkung keine eindeutige Minderung des Befallsgrades erreicht werden, trotzdem wurden Mehrerträge zwischen 5 und 17% im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle bei Weißlupine realisiert. Unter Nutzung der Ergebnisse eines Beizversuches im Labormaßstab im Frühjahr 1997 in Güterfelde und in Abstimmung mit den Herstellern ausgewählter Beizen und Fungizide und Herrn Dr. Römer wurden Varianten für eine Beizmittel- und Fungizidanwendung in Feldversuchen festgelegt. Um die Vergleichbarkeit der Versuchsergebnisse zu verbessern, verwendeten alle Versuchsansteller (außer Dresden) eine einheitliche und infizierte Saatgutpartie der Weißlupinensorte "Amiga" mit einer Ausgangsbelastung von 7%, die durch Güterfelde bereitgestellt werden konnte.

Die Versuchsanlage erfolgte als randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen. Einzelne Versuchsansteller verzichteten bewußt auf die Randomisierung der unbehandelten Kontrolle und drillten diese an den Rand der Versuchsanlage, um die Gefahr der Infektionsausbreitung von der unbehandelten Kontrolle aus auf die Prüfglieder zu verringern.

Mit Hilfe der in Tabelle 2 aufgeführten Versuchsvarianten sollte ein Weg zur Produktion befallsfreien Saatgutes gefunden werden. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde mit zugelassenen Getreidebeizen, Fungiziden mit unterschiedlichen Wirkmechanismen und auch mit sehr teuren Spritzfolgen gearbeitet. Als Erstanwendungstermin der Fungizide wurde das 4-Blattstadium der Lupine festgelegt. Das bedeutet, daß die Fungizidanwendung schlußfolgernd aus den Erfahrungen des Vorjahres bereits vor dem Ausbilden von Krankheitssymptomen, das heißt prophylaktisch, durchgeführt wird.

Tab. 2: Weißlupine - Anthracnosebekämpfung

Beizversuch

Variante	Wirkstoff	Aufwandmenge
1. UK	-	-
2. Landor CT	Fludioxonil + Difenconazol+ Tebuconazol	300 ml/dt
3. Landor CT	Fludioxonil + Difenconazol+ Tebuconazol	400 ml/dt
4. Solitär	Fludioxonil+ Tebuconazol+ Cyprodinil	200 ml/dt
5. Solitär	Fludioxonil+ Tebuconazol+ Cyprodinil	300 ml/dt

Tab. 2 (Fortsetzung)

Blattbehandlung (Standardbeizung Solitär oder Landor CT)

1. UK	-	-	
2. TM Harvesan + Amistar	Carbendazim + Flusilazol Azoxystrobin	1,0 l/ha 0,8 l/ha	T 1
3. SF Harvesan Harvesan	Carbendazim + Flusilazol	1,2 l/ha 1,2 l/ha	T 1 T 2
4. SF Amistar Amistar	Azoxystrobin	1,0 l/ha 1,0 l/ha	T 1 T 3
5. SF Eria Eria	Difenoconazol + Carbendazim	2,0 l/ha 2,0 l/ha	T 1 T 2
6. SF Discus Discus	Kresoxim-methyl	0,5 kg/ha 0,5 kg/ha	T 1 T 3
7. SF Switch Switch	Cyprodinil + Fludioxonil	1,0 kg/ha 1,0 kg/ha	T 1 T 2
8. SF Harvesan Harvesan Eria	Carbendazim + Flusilazol Difenoconazol + Carbendazim	1,0 l/ha 1,0 l/ha 2,0 l/ha	T 1 T 2 T 4

TM=Tankmischung T 1= 4-Blatt-Stadium der Lupine

SF=Spritzfolge T 2=14 Tage nach T 1

T 3=21 Tage nach T 1

T 4=14 Tage nach T 2

Ergebnisse und Diskussion

Beizversuch

Am Beizversuch beteiligten sich vier Versuchsansteller. Der Befallsverlauf war an den einzelnen Standorten sehr unterschiedlich. Während in Güterfelde der Ausbreitung der Anthracnose durch die Saatgutbeizung mit Landor CT oder Solitär erfolgreich begegnet werden konnte, reichte an den Versuchsstandorten Dresden, Rastatt und Aschach aufgrund des klimatisch bedingten höheren Infektionsdruckes eine alleinige Saatgutbeizung nicht aus. Die Beizmittel Prelude UW und Rovral UFB werden als wirksame und von

einzelnen Versuchsanstellern zusätzlich geprüfte Beizen in den Tabellen 3 und 4 mit aufgeführt. Die Bewertung der biologischen Wirksamkeit der Beizen erfolgte in % befallene Pflanzen oder in Form von Noten entsprechend den Bewertungsrichtlinien des Bundesortenamtes.

Ertragsseitig wird die differenzierte Wirksamkeit der Beizmittel besonders deutlich. An den Standorten Güterfelde und Dresden konnten durch die Beizung deutliche Ertragszuwächse von bis zu 3 bis 5 dt/ha erreicht werden. Hingegen erwies sich in Rastatt nur die Beizvariante Solitär mit 11,2 dt/ha als ausreichend ertragswirksam. Inwieweit sich die durch die Beizen Solitär und Landor CT hervorgerufenen Wachstumsverzögerungen der Keimpflanzen auf den Blühbeginn und den Abreifezeitpunkt auswirken, bedarf noch weiterer Untersuchungen. Der unterschiedlich starke Infektionsdruck dokumentiert sich eindeutig in den Ertragsergebnissen der unbeizten Kontrollen. In Aschach und Rastatt wurden diese vollständig vernichtet und erbrachten keinen Ertrag, hingegen wurden in Dresden noch 7,7 dt/ha und in Güterfelde 17,6 dt/ha geerntet. Die zum Teil guten Beizmittelwirkungen reichten jedoch nicht aus, um befallsfreies Saatgut zu produzieren. Der Samenbefall nach erfolgter Ernte lag beispielsweise nach den recht guten Wirkungsgraden in der Anthracnosebekämpfung am Standort Güterfelde trotzdem zwischen 1,5 und 6,3 % befallene Samen im Erntegut.

Anwendung von Fungiziden

Um die Produktion von befallsfreiem Saatgut sicherzustellen, wurden auch aufwendige und teure Fungizidspritzfolgen in den Weißlupinenbeständen auf ihre Wirksamkeit überprüft. Auch in diesem Falle bestätigte sich der unterschiedlich starke Befallsdruck an den einzelnen Versuchsstandorten (Tab. 5 und 6).

Während in Güterfelde (Tab. 5) eine weitere Befallsminderung im Vergleich zur gebeizten Variante und mit den Fungiziden Amistar, Harvesan, Eria und Switch sogar eine optische Befallsfreiheit erreicht wurde, führten die gleichen Fungizide an den anderen Standorten nur zu mittleren oder unzureichenden Wirkungsgraden. Ertragsseitig wurden durch den Fungizideinsatz am Standort Güterfelde in allen Varianten sowohl Mehrerträge gegenüber der unbehandelten Kontrolle als auch gegenüber der ausschließlich gebeizten Variante realisiert. Der zusätzliche Fungizideinsatz zur Beizung führte zu Ertragssteigerungen zwischen 2 und 4 dt/ha. Die Spritzfolgen mit Amistar, Eria und Switch hatten die höchsten Ertragssteigerungen zur Folge. Die Untersuchung auf Samenbefall im Anschluß an die Ernte bestätigte die gute Wirkung der Spritzfolgen mit Amistar und Eria durch Befallsfreiheit. Auch durch die Anwendung von Harvesan wurde befallsfreies Erntegut erreicht.

Tab. 3: Beizversuch zur Anthracnosebekämpfung in Weißlupine

Güterfelde: Ausgangsbelastung des Saatgutes 7 %, Befallsbeginn 01.06.97
Dresden: Ausgangsbelastung des Saatgutes 30 %, Befallsbeginn 07.06.97

Variante	Aufwand- menge ml/dt	befallene Pflanzen in %				Ertrag dt/ha	
		Güterfelde		Dresden		Güterfelde	Dresden
		03.06.	22.07.	26.06.	17.07.		
Unbeh. Kontrolle	-	18,5	23,1	1,3	70,7	17,6	7,7
Landor CT	300	0	0,3	1,0	51,2	20,7 *	8,6
Landor CT	400	0	0	1,0	56,8	20,3	8,9
Solitär	200	0	1,1	0,4	39,0	20,8 *	11,7 *
Solitär	300	0	0,1	0,4	33,2	19,8	12,4 *
Prelude UW	350	-	-	0,4	28,7	-	12,6 *

* signifikant GD 5 %

Tab. 4: Beizversuch zur Anthracnosebekämpfung in Weißlupine

Ausgangsbelastung des Saatgutes 7 %, Rastatt, Aschach

Variante	Aufwand menge ml/dt	Befall mit Anthracnose 1)					Ertrag dt/ha	
		Rastatt		Aschach			Rastatt	Aschach
		01.07.	21.08.	20.07.	05.08.	12.08.		
Unbeh. Kontrolle	-	o.A.	o.A.	3,0	9,0	9,0	0	0
Landor CT	300	7,0	8,3	-	-	-	1,5	-
Landor CT	400	-	-	1,0	6,0	8,0	-	0
Solitär	200	3,7	6,7	-	-	-	11,2	-
Solitär	300	5,7	8,0	2,0	7,0	8,0	3,3	0
Rovral UFB	300	6,3	6,3	-	-	-	4,6	-

1) Bewertung nach Richtlinie des Bundesortenamtes, 1 = kein Befall, 9 = sehr starker Befall
o.A. = ohne Angaben

Tab. 5: Fungizidversuch zur Anthraknosebekämpfung in Weißlupine

Variante	Ausgangsbelastung des Saatgutes	befallene Pflanzen in %			Güterfelder	Neubrandbg. I)	Güterfelder	Ertrag dt/ha		Neubrandendbg.	
		Aufwandmenge I, kg/ha	03.06.	22.07.				Dresden	18.07.		05.06.
Unbeh. Kontrolle	7 %	-	(18,5)	(23,1)	(1,3)	(70,7)	15	100	(17,6)	(7,7)	
0 gebeizt/ ohne Fungizide	30 %	-	(0)	(0,3)	0,1	20,3	-	-	(20,7)	12,1	
1 TM Follicur + Amistar	7 %	0,8 0,8	0	0,1	-	-	15	100	22,2	-	keine Ertrags- erfassung nach Hasenfraß und Anthrak- nosebefall
2 TM Harvesan + Amistar		1,0 0,8	0	0	0,4	18,6	15	100	22,7	10,9	
3 SF Harvesan Harvesan		1,2 1,2	0	0,1	0,1	16,4	-	-	23,0	10,6	
4 SF Amistar Amistar		1,0 1,0	0	0	0,1	18,6	15	100	23,8	13,3	
5 SF Eria Eria		2,0 2,0	0	0	0,4	15,9	-	-	24,0	12,0	
6 SF Discus Discus		0,5 0,5	0	0,1	0,1	16,7	15	100	23,0	10,1	
7 SF Switch Switch		1,0 1,0	0	0	0,1	20,0	-	-	24,8	12,5	
8 SF Harvesan Harvesan Eria		1,0 1,0 2,0	0	0,1	0,1	18,7	-	-	23,0	12,8	

TM = Tankmischung

SF = Spritzfolge

() aus Beizversuch

1) Erstapplikation zum T 2, d.h. nach Befallsbeginn

Tab. 6: Fungizidversuch zur Anthraknosebekämpfung in Weißlupine

Variante	Ausgangsbelastung des Saatgutes	Aufwandmenge I, kg/ha	Befall mit Anthraknose 1)			Ertrag dt/ha		
			Rastatt	Aschach	12.08.			
			01.07.	21.08.	20.7.	05.08.	Rastatt	Aschach
Unbeh. Kontrolle	7 %	-	o.A.	o.A.	(3)	(9)	0	
0 gebeizt/ ohne Fungizide	7 %	-	7,0	8,3	(1)	(6)	1,5	keine gesicherten Unterschiede
1 TM Follicur + Amistar		0,8 0,8	-	-	1	7	-	Totalschaden
2 TM Harvesan + Amistar		1,0 0,8	3,3	5,7	2	6	12,5	
3 SF Harvesan Harvesan		1,2 1,2	4,7	7,3	2	6	9,3	
4 SF Amistar Amistar		1,0 1,0	4,3	7,3	1	4	8,0	
5 SF Eria Eria		2,0 2,0	4,7	8,0	-	-	2,5	
6 SF Discus Discus		0,5 0,5	5,7	8,3	3	5	3,2	
7 SF Switch Switch		1,0 1,0	3,7	8,0	-	-	3,1	
8 SF Harvesan Harvesan Eria		1,0 1,0 2,0	4,0	8,0	2	6	5,3	

TM = Tankmischung

SF = Spritzfolge

() aus Beizversuch

1) Bewertung nach Richtlinie des Bundessortenamtes I = kein Befall 9 = sehr starker Befall

o.A. ohne Angabe

Am Standort Dresden (Tab. 5) lag der Befall mit 70,7% befallene Pflanzen in der ungebeizten und unbehandelten Kontrolle Mitte Juli sehr hoch. Die bereits durch die Beizung mit Landor CT erreichte Verringerung des Befalls auf 20,3% konnte durch die Fungizidanwendungen nur in begrenztem Umfang bis zu einem Befall von 15,3% im günstigsten Falle mit dem Fungizid Eria verringert werden. Der Fungizideinsatz führte hier nur zu geringen oder zu keinen Ertragssteigerungen. Am besten schneidet am Standort Dresden die Spritzfolge Amistar mit 13,3 dt/ha ertragsseitig ab.

Am Standort Neubrandenburg (Tab. 5) wurden die Weißlupinen ungebeizt gedrillt. Der geplante Erstanwendungstermin der Fungizide zum 4-Blattstadium der Lupinen konnte wegen Nichterreichbarkeit der Versuchsfläche zu diesem Zeitpunkt nicht realisiert werden, so daß die Fungizidanwendung erst nach Befallsbeginn erfolgte. Die Ausbreitung der Anthracnose war durch diese späte Anwendung nicht mehr zu stoppen und führte zu einem Pflanzenbefall von 100%. Das bestätigt die Erfahrungen aus dem Jahr 1996 in Güterfelde. Eine Beerntung war in Neubrandenburg nach diesem starken Befall und zusätzlichem Wildfraß nicht mehr möglich.

Am Standort Rastatt (Tab. 6) wurden trotz des sehr hohen Infektionsdruckes Fungizidwirkungen erzielt. Während die Anwendungen von Eria, Discus und Switch den sehr starken Befall nicht verhindern konnten, führten die Spritzfolgen mit Harvesan und Amistar zu einer Befallsverringerng, die sich in Erträgen von 9,3 und 8,0 dt/ha dokumentiert. Am wirkungsvollsten bei der Anthracnosebekämpfung erwies sich hier die einmalige Anwendung der Tankmischung aus Harvesan und Amistar mit einem Ertrag von 12,5 dt/ha.

Die Weißlupinen der Versuchsanlage in Aschach (Tab. 6) wiesen bis zum 20.7.97 keine Befallssymptome auf. Nach starken Regenfällen breitete sich die Anthracnose dann jedoch sehr schnell und stark im Bestand aus. Die Beizung und die prophylaktischen Fungizidanwendungen

konnten diesem starken Befallsdruck nur geringen Widerstand entgegensetzen, so daß nach Mitte August keine gesicherten Unterschiede mehr zwischen der unbehandelten Kontrolle und den Fungizidvarianten vorhanden waren. Eine Beerntung konnte wegen Totalschadens nicht erfolgen.

Obwohl die Erfolge bei der Anthracnosebekämpfung an den einzelnen Standorten sehr differenziert waren, lassen sich folgende Schlußfolgerungen ableiten:

- Das erste Auftreten von Befallssymptomen der Anthracnose schwankte 1997 standortabhängig zwischen Anfang Juni und Mitte August, meist nach stärkeren Niederschlägen.
- Starker Befall war in Gelb- und Weißlupinenbeständen vorhanden.
- Durch die gezielte Beizung infizierten Saatgutes konnte der Befall deutlich verringert

werden. Bei starkem Infektionsdruck erwies sich jedoch keines der getesteten Beizmittel als ausreichend wirksam. Gute Ergebnisse durch Beizung wurden mit Landor CT, Solitär, Rovral UFB und Prelude UW und im Laborversuch auch mit dem Fungizid Amistar erreicht.

- Durch die zusätzlich zur Beizung durchgeführten Blattbehandlungen wurde häufig, aber nicht an allen Standorten der Befall verringert und der Ertrag erhöht. Wichtig erscheint es, die Bekämpfung mit einer prophylaktischen Fungizidanwendung zu beginnen. Die Anwendung im 4-Blattstadium der Lupine erwies sich als günstig. Als wirksame Fungizide kristallisierten sich Amistar, Harvesan, Switch und Eria heraus, jedoch nicht einheitlich an allen Standorten.
- Einzelwirkstoffe dieser Fungizide sind identisch mit Einzelwirkstoffen der wirksamen Beizmittel. Dazu gehören die Wirkstoffe Fludioxonil, Cyprodinil, Difenoconazol und Carbendazim.
- Durch Beizung und Fungizidanwendung konnte am Standort Güterfelde in einem infizierten Bestand der Samenbefall des Erntegutes auf unter 1% , in mehreren Varianten auf 0% reduziert werden. Trotzdem erwiesen sich die gleichen Bekämpfungsvarianten an anderen Standorten als nicht ausreichend. Die Strobilurin - Fungizide Amistar und Discus erreichten auch an den Standorten mit Totalausfall die größten und langanhaltendsten Wirkeffekte bzw. die geringste Symptomausprägung im Vergleich der Varianten.

Die Ergebnisse der mehrortigen Versuche wurden der Biologischen Bundesanstalt und dem Arbeitskreis Lückenindikation beim BML zugearbeitet. Da trotz dieser umfangreichen Untersuchungen viele Fragen nicht eindeutig beantwortet werden können, sollten die Versuche 1998 fortgesetzt werden.

Untersuchungen zum Vorfruchtwert großkörniger Leguminosen unter besonderer Berücksichtigung der Weißen Lupine

Reinhard Albrecht

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft

Referat Pflanzenbau

Apoldaer Straße 4

D-07778 Dornburg

Zusammenfassung

Nach Körnerleguminosen (Futtererbse, Ackerbohne, Weiße Lupine) und Getreide (Sommergerste, Hafer) kamen am Standort Dornburg (Lößlehm, 582 mm Niederschlag, 8,8 °C Durchschnittstemperatur) als 1. Nachfrüchte drei Getreidearten (Triticale, Winterweizen, Sommergerste) und Kartoffeln zum Anbau. Die N-Düngung der ersten Nachfrüchte erfolgte in zwei Varianten: ohne mineralische N-Düngung (entsprechend ökologischem Landbau) und mineralische N-Düngung nach Bedarfsanalyse (entsprechend guter fachlicher Praxis). Ohne N-Düngung lagen die Getreideerträge nach Leguminosenvorfrucht 23,4 bis 29,1 dt/ha höher als nach Getreidevorfrucht. Bei N-Düngung nach Bedarfsanalyse verringerte sich die Ertragsdifferenz auf 12,6 bis 14,3 dt/ha. Bei Bewertung mit aktuellen Erzeugerpreisen (keine Öko-Preise), Berücksichtigung des geringeren Aufwandes für Bodenbearbeitung und Düngung sowie Abzug mehrertragsbedingter Zusatzkosten ergibt sich im ersten Fall ein Vorfruchtwert der Leguminosen von 512 bis 678 DM/ha, im zweiten Fall von 252 bis 358 DM/ha. Leguminosen als Vorfrucht verbesserten die Samenqualität bei nachgebautem Getreide (höherer Rohproteingehalt, höheres Hektolitergewicht). Zwischen den drei geprüften Leguminosenarten bestanden nur geringe Unterschiede in bezug auf den Vorfruchtwert.

Abstract

Three cereals (triticale, winter wheat, spring barley) and potatoes were cultivated as first consecutive crops after grain legumes (peas, beans, white lupins) and cereals (spring barley, oat) at Dornburg (loess soil, precipitation 582 mm/year, mean of temperature 8.8 °C). Two variants of N-fertilization were investigated for the first following crops: without N-fertilization (corresponding to organic farming) and N-fertilization in agreement with requirement by means of analysis of soil (corresponding to good professional farming). Without N-fertilization the yields of cereals were 23.4 to 29.1 dt/ha higher following legu-

mes than following cereals as preceding crops. If nitrogen was fertilized in agreement with requirement, the yields of cereals were higher following legumes than following cereals only 12.6 to 14.3 dt/ha. In agreement with topical prices (not special prices for ecological products), under consideration of the reduced expense of tillage and fertilization, and after deduction of costs dependent on surplus-yield, the value of legumes as preceding crops amount 512 to 678 DM/ha in the first variant, and 252 to 358 DM/ha in the second variant. Legumes as preceding crops improved the quality of grains at following cereals (higher content of crude protein, higher hectolitre weight). The three investigated legumes hardly differed concerning their value as preceding crop.

Key words: Grain legumes, *Lupinus albus* L., *Pisum sativum* L., *Vicia faba* L., cereals, potatoes, crop rotation, preceding crop value, N-mineralization, yield, grain quality

Einleitung

In ökonomische Bewertungen der Produktion von Körnerleguminosen wird fast immer deren besonderer Vorfrucht- bzw. Fruchtfolgewert mit einbezogen. Als Bezugsbasis dient dabei das Getreide, da es im allgemeinen die Alternative zum Körnerleguminosenanbau darstellt. Der Vorfruchtwert des Getreides fungiert als Nullmarke, an der der (besondere) Vorfruchtwert von Leguminosen gemessen wird. Verbal ausgedrückt bestehen die Vorzüge von Leguminosen in der Fruchtfolge

- im Hinterlassen eines Teils des mit Hilfe der Rhizobien fixierten Luftstickstoffs
- in der Mobilisierung von Grundnährstoffen, z. B. Phosphor, aus schwer löslichen Verbindungen oder aus tieferen Bodenschichten
- im Hinterlassen einer guten Bodengare
- im Unterbrechen der Entwicklungszyklen von Getreidekrankheiten.

Zur monetären Erfassung des Vorfruchtwertes liegen nur wenige experimentelle Ergebnisse vor, so daß in betriebswirtschaftlichen Berechnungen meist nur Schätzwerte angegeben werden können, die zudem eine weite Spanne von 100 bis 300 DM/ha aufweisen. Dieser Sachverhalt gibt nicht selten Anlaß zur Skepsis.

Um die Aussagen zum Vorfruchtwert der Leguminosen sicherer zu machen, wurden die folgenden Untersuchungen durchgeführt.

Material und Methoden

Zur Ermittlung des besonderen Vorfruchtwertes von Leguminosen sind drei Ansätze möglich:

- Mehrertrag einer Fruchtart nach Leguminosen gegenüber Anbau nach Getreide, ohne N-Düngung (Variante des ökologischen Landbaues)
- N-Düngeraufwand, der notwendig ist, um bei einer Fruchtart nach Getreide den gleichen Ertrag zu erzielen wie nach Vorfrucht Leguminosen ohne N-Düngung (z.B. Untersuchungen von Köpke, zitiert bei Brinkmann, 1996)
- Mehrertrag und geringerer N-Düngerbedarf einer Fruchtart nach Leguminosen gegenüber Anbau nach Vorfrucht Getreide bei differenzierter N-Düngung nach Bedarfsanalyse (gute fachliche Praxis)

Mit diesen Ansätzen wird zunächst nur die Wirkung auf die 1. Nachfrucht erfaßt. Inwieweit sich der Vorfruchtwert der Leguminosen auch noch bei der 2. Nachfrucht auswirkt, ist ebenfalls zu prüfen.

Am Standort Dornburg wurden zwei mehrjährige Versuche zum Vergleich des Vorfruchtwertes von Getreide und Leguminosen angelegt (Tab. 1), und zwar

- Versuch 1 (1994 - 1996) mit den Vorfrüchten Hafer und Weiße Lupine,
- Versuch 2 (1996 - 1998) mit 2 Getreidearten (Sommergerste, Hafer) und 3 Körnerleguminosen (Futtererbse, Ackerbohne, Weiße Lupine) als Vorfrüchte.

Die 2. Nachfrucht des Versuches 2 stand zum Berichtszeitpunkt noch im Feld.

Die natürlichen Bedingungen am Versuchsstandort sind wie folgt charakterisiert:

Geologische Formation:	Mittlerer Muschelkalk mit Löß-Auflage
Boden:	Löß-Braunerde Lehm, Bodenwertzahl 62
Höhenlage:	250 m ü. NN
Jahresniederschlag:	582 mm
Jahresdurchschnittstemperatur:	8,8 °C

Mit Ausnahme der N-Düngung, die durch den Versuchsplan (Tab. 1) vorgegeben war, wurden alle Anbaumaßnahmen ortsüblich und möglichst optimal durchgeführt. Lediglich die Aussaat der beiden als 1. Nachfrüchte angebauten Wintergetreidearten im Versuch 2 verzögerte sich aufgrund der späten Reife der Vorfrucht Weiße Lupine und konnte erst am 4. November vorgenommen werden. Das Stroh sowohl der Vorfrüchte als auch der Nachfrüchte verblieb auf dem Feld.

Tabelle 1: Versuchsablauf

Versuch 1				
1994 Vorfrüchte		1995 1. Nachfrüchte		1996 2. Nachfrucht
Hafer	Tomba	Winterweizen	Zentos	Sommerbraugerste Krona
Weißer Lupine	Amiga	Kartoffel	Adretta	
keine N-Düngung		keine N-Düngung		N-Düngung nach SBA
Versuch 2				
1996 Vorfrüchte		1997 1. Nachfrüchte		1998 2. Nachfrucht
Sommerbraugerste	Krona	Triticale	Binova	Wintergerste Catania
Hafer	Alf	Winterweizen	Tarso	
Körnerfuttererbse	Loto	Sommerbraugerste	Maresi	
Ackerbohne	Scirocco			
Weißer Lupine	Amiga			
N-Düngung Getreide nach SBA Leguminosen keine N-Düngung		2 N-Düngungsvarianten: 1. ohne N-Düngung 2. N-Düngung nach SBA		N-Düngung nach SBA

SBA = Stickstoffbedarfsanalyse

Tabelle 2: Versuch 1 - Veränderungen des N_{\min} -Gehaltes im Boden (0 - 90 cm Bodentiefe) in Abhängigkeit von Vorfrucht und 1. Nachfrucht

Zeitpunkt	Probenahme Datum	N_{\min} kg/ha	
		Vorfrucht Hafer	Vorfrucht Weißer Lupine
Zur Aussaat Vorfrucht	06.04.94	114	
Nach Ernte Vorfrucht	02.09.94	42	67
Zur Weizenaussaat	18.10.94	63	100
Zu Vegetationsbeginn (Weizenfläche)	07.03.95	58 (44)	91 (60)
Vor Kartoffelpflanzung (Kartoffelfläche)	12.04.95	105 (87)	125 (94)
Nach Ernte 1. Nachfrucht Weizen Kartoffeln	29.09.95	25 46	24 55
Zur Aussaat 2. Nachfrucht nach Weizen nach Kartoffeln	15.04.96	52 (39) 121 (59)	58 (39) 94 (64)
Nach Ernte 2. Nachfrucht nach Weizen nach Kartoffeln	06.09.96	20 20	29 29

Werte in () = pflanzenverfügbare N

Die Stickstoffbedarfsanalyse (SBA) erfolgte nach den Richtlinien der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft und entspricht den Praxisempfehlungen für Thüringen. Sie basiert auf dem N_{\min} -Gehalt des Bodens in 0 - 30, 30 - 60 und 60 - 90 cm Tiefe, aus dem durch verschiedene boden- und fruchtartenbedingte Ab- und Zuschläge der pflanzenverfügbare Stickstoff errechnet wird. Dem steht ein fruchtartenspezifischer N-Sollwert gegenüber, zu dem ebenfalls Ab- und Zuschläge erfolgen können. Die Differenz zwischen N-Sollwert und pflanzenverfügbarem Stickstoff stellt den N-Düngerbedarf dar.

Im Versuch 1 kamen die Vorfrüchte in zwei nebeneinanderliegenden geschlossenen Flächen von je 1.000 m² zum Anbau. Auf jeder dieser Flächen standen im Folgejahr die beiden 1. Nachfrüchte ebenfalls als zusammenhängende Streifen, aus denen jeweils 8 (Weizen) bzw. 6 (Kartoffeln) Teilstücke von 12 m² geerntet wurden. Die 2. Nachfrucht gelangte einheitlich auf der gesamten Versuchsfläche zur Aussaat, die N-Düngung erfolgte jedoch getrennt nach Vorfrüchten und 1. Nachfrüchten. Geerntet wurden 6 Teilstücke je Variante.

Im Versuch 2 standen die 5 Vorfrüchte als 9 m breite Streifen von je 1.200 m², durch Wege getrennt, nebeneinander. Diese Streifen wurden zum Anbau der 1. Nachfrüchte in 4 Wiederholungen unterteilt, von denen jede 6 Versuchsvarianten (3 Nachfrüchte in jeweils 2 N-Stufen) umfaßte (Abb. 1). Die Maße der Anlageparzellen betragen 4,5 m x 9 m, die der Ernteparzellen 3 m x 8 m = 24 m². Die 2. Nachfrucht gelangte wiederum einheitlich auf der gesamten Versuchsfläche zur Aussaat.

Ergebnisse

Untersuchungen zum Vorfruchtwert von Weißen Lupinen 1994 - 1996 (Versuch 1)

N_{\min} -Gehalt des Bodens

Der N_{\min} -Gehalt des Bodens stellt eine wesentliche Komponente des Vorfruchtwertes dar. Er ist fruchtartenbedingt verschieden und durch erhebliche Veränderungen während der Vegetationsperiode gekennzeichnet (Tab. 2).

Der relativ hohe N_{\min} -Gehalt zur Aussaat der Vorfrucht (Probenahme 06.04.94) rührte daher, daß im Jahre 1993 auf der Versuchsfläche Futtererbsen standen. Ab Ernte der Vorfrüchte nahm der N_{\min} -Gehalt sowohl nach Weißer Lupine als auch nach Hafer bis zum Frühjahr beträchtlich zu, ein Zeichen für Mineralisationsvorgänge im Boden. Der leichte Rückgang vom 18.10.94 zum 07.03.95 auf der Weizenfläche könnte die bereits vorhandene N-Aufnahme durch die Weizenpflanzen widerspiegeln. Die N_{\min} -Gehalte nach Hafer erscheinen relativ hoch, zumal keinerlei N-Düngung erfolgte. Dagegen sind die Unterschiede zwischen Lupine und Hafer, die je nach Beprobungszeitpunkt zwischen 20 und 37 kg N/ha liegen, vergleichsweise gering. Besonders wenig unterscheiden sich die

Werte beim pflanzenverfügbaren Stickstoff im Frühjahr 1995. Hierin kommt die etwas ungünstigere N-Verteilung auf die Bodenschichten nach der Vorfrucht Weiße Lupine, d. h. ein relativ hoher N_{min} -Anteil im Unterboden, zum Ausdruck. Die bei der Weißen Lupine gegenüber Vorfrucht Hafer nur gering erhöhten Werte für pflanzenverfügbaren Stickstoff gaben Anlaß, in diesem ersten, orientierenden Versuch zum Vorfruchtwert keine N-Düngung vorzunehmen, um die vermutlich nur geringen Ertragsunterschiede der 1. Nachfrüchte nicht zu egalisieren. Dies entspricht dem ersten der unter Abschnitt 2 genannten Ansätze zur Ermittlung des Vorfruchtwertes.

Nach Ernte der 1. Nachfrüchte gingen die N_{min} -Gehalte auf ein relativ niedriges Niveau zurück. Nennenswerte Unterschiede zwischen den Vorfrüchten Hafer und Weiße Lupine traten ab diesem Zeitpunkt nicht mehr auf. Dagegen weisen die Unterschiede im N_{min} -Gehalt des Bodens zwischen den beiden 1. Nachfrüchten Weizen und Kartoffeln auf den besonderen Vorfruchtwert von Kartoffeln hin.

Der Anbau der 2. Nachfrucht erfolgte entsprechend dem Ansatz "gute fachliche Praxis", d.h. es wurde nach SBA gedüngt, bei einem korrigierten N-Sollwert von 85 kg/ha (Braugerste mit Zielertrag 55 dt/ha). Die entsprechenden Düngergaben betragen:

Hafer	Weizen	Sommergerste	45 kg N/ha
Lupine	Weizen	Sommergerste	45 kg N/ha
Hafer	Kartoffeln	Sommergerste	25 kg N/ha
Lupine	Kartoffeln	Sommergerste	20 kg N/ha

Die niedrigen und ausgeglichenen N_{min} -Gehalte nach der 2. Nachfrucht zeigen, daß die Sommergerste die verabreichten N-Mengen offenbar vollständig verwertet hat.

Erträge der Vorfrüchte

Die Vorfrucht Weiße Lupine wies mit fast 40 dt/ha ein für Thüringen hohes Ertragsniveau auf (Tab. 3). Dagegen lag der Haferertrag trotz Anbau nach Erbsen und einem hohen N_{min} -Gehalt im Frühjahr nur bei 67 % zum Landesdurchschnitt. Hafer ist somit ohne N-Düngung auch bei guter N-Nachlieferung aus dem Boden nicht in der Lage, einen annähernd normalen Ertrag zu realisieren.

Erträge der 1. Nachfrüchte

Die 1. Nachfrüchte Wi.-Weizen und Kartoffeln brachten nach Weißer Lupine gegenüber Hafer als Vorfrucht unerwartet hohe Mehrerträge von 26 bzw. 34 dt/ha (Tab. 3). Dar- aus lassen sich folgende Mehrerlöse abschätzen:

- Bei Qualitätsweizen mit einem Erzeugerpreis von 24 DM/dt ergeben sich 624 DM/ha

Mehrerlös

- Bei Kartoffeln beträgt der Mehrerlös bei 75 % Marktwarenanteil und einem Erzeugerpreis von 12 DM/dt 306 DM/ha

Die angesetzten Erzeugerpreise entsprechen konventioneller Produktion. Da im ökologischen Landbau höhere Preise zu erzielen sind, dürften dort die tatsächlichen Mehrerlöse noch deutlich höher ausfallen.

Erträge der 2. Nachfrucht

Die Erträge der 1996 geprüften 2. Nachfrucht Sommerbraugerste waren nach beiden 1994 angebauten Vorfrüchten, Hafer und Weiße Lupine, gleich hoch (Tab. 3). Es ließ sich demnach kein Einfluß der Vorfrucht auf den Ertrag der 2. Nachfrucht nachweisen.

Lediglich die 1. Nachfrüchte, Weizen und Kartoffeln, wirkten sich differenzierend auf die Leistung der 2. Nachfrucht aus. Nach Kartoffeln wurden rund 9 dt/ha mehr Sommergerste geerntet als nach Winterweizen. Dies entspricht bei einem Braugerstenpreis von 25 DM/dt einem Mehrerlös von 225 DM/ha, ein Anhaltspunkt dafür, in welcher Größenordnung der besondere Vorfruchtwert von Kartoffeln bei konventionellem Anbau liegen könnte.

Als wesentliches Qualitätskriterium der Braugerste wurde der Rohproteingehalt der 2. Nachfrucht untersucht. Er wies in den verschiedenen Vorfrucht/1.Nachfrucht-Kombinationen folgende Werte auf:

Hafer	Weizen	Sommergerste	9,9 % der TM
Lupine	Weizen	Sommergerste	10,3 % der TM
Hafer	Kartoffeln	Sommergerste	10,9 % der TM
Lupine	Kartoffeln	Sommergerste	10,9 % der TM

Die Unterschiede sind relativ gering, in der Tendenz ist der Rohproteingehalt aber nach Kartoffeln etwas höher als nach Weizen.

Untersuchungen zum Vorfruchtwert von Körnerleguminosen 1996 - 1998 (Versuch 2)

N_{min} -Gehalt des Bodens und N-Düngung

Im Herbst des Erntejahres der Vorfrüchte (Probenahme am 08.10.96) waren die N_{min} -Gehalte nach Leguminosen zunächst nur wenig höher als nach Getreide (Abb. 2, im Mittel 40 gegenüber 27 kg N/ha). Über Winter nahm dann aber der N_{min} -Gehalt nach Leguminosen deutlich stärker zu als nach Getreide und erreichte zu Vegetationsbeginn (Probenahme am 13.03.97) im Mittel folgende Werte:

Getreide	43 kg N/ha, pflanzenverfügbar 34 kg
Leguminosen	76 kg N/ha, pflanzenverfügbar 57 kg

Der Stickstoff verteilte sich relativ gleichmäßig auf die einzelnen Bodenschichten. Dies trifft für alle Fruchtarten zu. Bei den Leguminosen war keine stärkere N-Verlagerung in tiefere Schichten als bei Getreide zu erkennen. Die N_{\min} -Gehalte unterschieden sich nach Ackerbohnen und Weißen Lupinen nur wenig, nach Erbsen lagen sie zu allen Terminen deutlich höher.

Auf Basis des nach jeder Vorfrucht und für jede Nachfrucht ermittelten pflanzenverfügbaren Stickstoffs zu Vegetationsbeginn wurde die N-Düngungsempfehlung erstellt und erfolgte die Düngung der Versuchsvariante "N-Düngung nach SBA" (Tab. 4). Dabei waren nach Leguminosen im Mittel 26 kg N/ha weniger zu düngen als nach Vorfrucht Getreide.

Nach der Ernte der 1. Nachfrucht (Probenahme 12.08.97) hatten sich die N_{\min} -Gehalte des Bodens auf niedrigem Niveau (Mittelwert 33 kg/ha in 0-90 cm Tiefe) über alle Vorfrüchte und beide N-Stufen völlig angeglichen. Dies zeigt, daß die drei Nachfrüchte während ihres Wachstums nahezu allen im Boden verfügbaren Stickstoff nutzen konnten und somit in keiner Variante ein Überangebot bestanden hat.

Erträge der Vorfrüchte

Beim Anbau der Vorfrüchte wurden folgende Erträge erzielt:

Sommergerste	44,3 dt/ha
Hafer	59,0 dt/ha
Futtererbse	nicht ermittelt
Ackerbohne	44,2 dt/ha
Weißer Lupine	21,3 dt/ha

Sie verweisen auf ein überdurchschnittliches Ertragsniveau bei Hafer und Ackerbohnen und ein unterdurchschnittliches bei Sommergerste und Weißen Lupinen. Der relativ niedrige Ertrag der Weißen Lupine ist sicher auf die späte Reife und den Anthracnosebefall zurückzuführen.

Bestandesentwicklung der 1. Nachfrüchte

Während der Vegetation war deutlich zu erkennen, daß sowohl optimale N-Düngung als auch Vorfrucht Leguminosen die Bestandesentwicklung fördern. Die Parzellen mit Getreide als Vorfrucht zeigten ohne N-Düngung auffallend kurzen Wuchs und geringere Bestandesdichten. Im Mittel blieben in den ungedüngten Varianten die drei als 1. Nach-

frucht angebauten Getreidearten nach Getreidevorfrucht 12 cm kürzer als nach Leguminosen, alle Differenzen waren signifikant (Tab. 5). Aber auch bei Düngung nach SBA waren Triticale und Sommergerste nach Getreidevorfrucht signifikant kürzer als nach Leguminosen. Lager trat nur in geringem Maße auf, nach Leguminosen stärker als nach Getreide.

Erträge der 1. Nachfrüchte

In der ungedüngten Variante konnten ähnlich große und in allen Fällen signifikante Ertragsunterschiede zwischen den Vorfrüchten Getreide und Leguminosen festgestellt werden wie 1995 im ersten Versuch zum Vorfruchtwert (Abb. 3). Bei N-Düngung nach SBA lag das Ertragsniveau beträchtlich höher als ohne N-Düngung, insbesondere nach Getreidevorfrucht. Trotzdem übertrafen die Erträge nach Leguminosen immernoch deutlich die nach Getreide, wenn auch der Abstand zum Hafer nicht immer signifikant war. Dies zeigt, daß die differenzierte N-Düngung nach SBA die Vorfruchtwirkung nur zum Teil ausgleichen konnte.

Vergleicht man die Erträge nach den einzelnen Getreide- bzw. Leguminosenarten (Abb. 3), so ist festzustellen, daß der Vorfruchtwert von Hafer in der Tendenz besser ist als der von Sommergerste und der von Ackerbohnen nicht ganz so hoch ist wie der von Erbsen und Weißen Lupinen. Die relativ geringen Unterschiede erlauben es jedoch, die Ertragszahlen für die zwei Getreide- und die drei Leguminosen-Vorfrüchte jeweils zusammenzufassen.

In der Variante ohne N-Düngung wurden nach Vorfrucht Leguminosen 29 dt/ha mehr Triticale und Sommergerste und 23 dt/ha mehr Winterweizen geerntet als nach Getreidevorfrucht (Tab. 6). Bei Bewertung mit Erzeugerpreisen des konventionellen Getreidebaues ergibt dies Mehrerlöse zwischen 560 und 730 DM/ha. Zumindest bei Backweizen und Braugerste können jedoch im ökologischen Landbau erheblich höhere Preise und dementsprechend höhere Mehrerlöse realisiert werden. Die Versuchsergebnisse unterstreichen die besondere Bedeutung von Leguminosen in der Fruchtfolge bei ökologischer Landbewirtschaftung.

In der Variante N-Düngung nach SBA - gute fachliche Praxis des konventionellen Anbaues - bewegen sich die Mehrerträge nach Leguminosenvorfrucht zwischen 12 und 15 dt/ha, was Mehrerlösen zwischen 250 und 360 DM/ha entspricht. Dazu kommt die N-Düngereinsparung im Wert von durchschnittlich 25 DM/ha (Tab. 6) sowie der verringerte Aufwand für die Bodenbearbeitung nach Leguminosen, der mit 20 bis 40 DM/ha angesetzt werden kann (UFOP-Information, 1997).

Tabelle 6: Versuch 2 - Unterschiede bezüglich Ertrag und N-Düngeraufwand bei der 1. Nachfrucht von Leguminosen und Getreide

1. Nachfrucht	Ertrag nach Vorfrucht		Mehrertrag nach Leguminosen		N-Dünger-Einsparung nach Leguminosen	
	Getreide dt/ha	Leguminosen dt/ha	dt/ha	DM/ha	kg N/ha	DM/ha
ohne N-Düngung						
Triticale	29,5	58,6	29,1	582		
Wi.-Weizen	23,9	47,3	23,4	562		
So.-Gerste	27,8	56,9	29,1	728		
N-Düngung nach SBA						
Triticale	75,2	87,8	12,6	252	22	21
Wi.-Weizen	69,7	82,4	12,7	305	29	28
So.-Gerste	50,4	64,7	14,3	358	27	26

Preise: Futtertriticale 20,- DM/dt N 0,95 DM/kg
 Qualitätsweizen 24,- DM/dt
 Braugerste 25,- DM/dt

Tabelle 7: Zusätzliche Kosten je dt Mehrertrag Getreide

Entzug P, K, Mg	1,05 DM/dt
Trocknung von 35 % des Erntegutes bei 18 % Ausgangsfeuchte	1,00 DM/dt
Reinigung von 50 % des Erntegutes	0,15 DM/dt
Transport	0,50 DM/dt
Insgesamt	2,70 DM/dt
bei 15 dt/ha Mehrertrag	40,50 DM/ha
bei 30 dt/ha Mehrertrag	81,00 DM/ha

Tabelle 8: Versuch 2 - 1. Nachfrüchte, Qualitätseigenschaften

N-Düngung	Vorfrucht	Nachfrucht		
		Triticale	Wi.-Weizen	So.-Gerste
Rohproteingehalt (% der TS)				
ohne	Getreide	9,35	10,94	9,79
	Leguminosen	9,60	11,56	9,96
	Differenz	+ 0,25	+ 0,62	+ 0,17
nach SBA	Getreide	11,31	15,38	9,58
	Leguminosen	11,44	15,60	10,30
	Differenz	+ 0,13	+ 0,22	+ 0,72
Hektolitergewicht (kg)				
ohne	Getreide	73,7	80,3	69,5
	Leguminosen	75,5	81,9	70,1
	Differenz	+ 1,8	+ 1,6	+ 0,6
nach SBA	Getreide	76,4	82,0	69,6
	Leguminosen	76,8	82,9	71,1
	Differenz	+ 0,4	+ 0,9	+ 1,5

signifikante Differenzen unterstrichen

Mehrertrag bringt jedoch nicht nur Mehrerlöse, sondern verursacht auch Mehrkosten durch Nährstoffentzug, Ernte, Aufbereitung und Transport (Tab. 7). Sie können überschlägig mit 2,70 DM/dt Getreide kalkuliert werden. In der Variante N-Düngung nach SBA mit bis zu 15 dt/ha Mehrertrag nach Leguminosen ergeben sich demzufolge Mehrkosten in der Größenordnung von 40 DM/ha. Sie werden durch N-Düngereinsparung und verringerten Aufwand bei der Bodenbearbeitung bereits mehr als ausgeglichen, so daß die Mehrerlöse voll als besonderer Vorfruchtwert der Leguminosen verbleiben. Bei der Variante ohne N-Düngung entfällt die N-Düngereinsparung. Von den Mehrkosten für rund 30 dt/ha Mehrertrag in der Größenordnung von 80 DM/ha (Tab. 7) können somit nur 30 DM für geringere Bearbeitungskosten abgezogen werden. Um die verbleibenden 50 DM/ha sind die Mehrerlöse zu vermindern, um den Vorfruchtwert zu erhalten, der sich somit zwischen 500 und 680 DM/ha bewegt.

Einfluß der Vorfrüchte auf die Ertragskomponenten der 1. Nachfrüchte

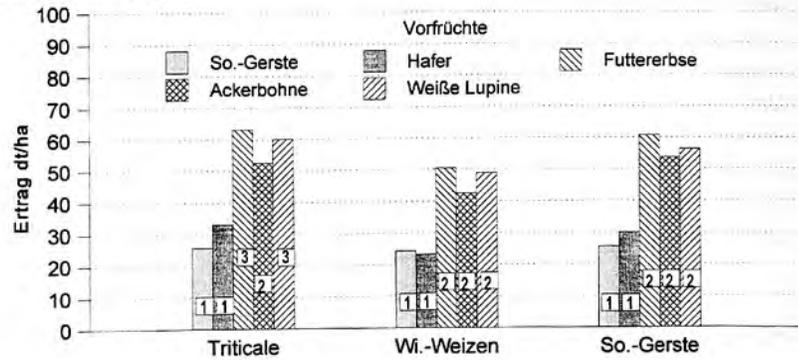
Der Kornertrag des Getreides setzt sich aus den Komponenten Ährenzahl je Flächeneinheit, Kornzahl je Ähre und Korngewicht zusammen. Beim Anbau der 1. Nachfrüchte wurden die Anzahl ährentragender Halme/m² und das Tausendkorngewicht (TKG) experimentell festgestellt, die Kornzahl/Ähre aus Kornertrag, Ährenzahl und TKG errechnet.

In beiden N-Düngungsstufen wird die Anzahl ährentragender Halme durch die Leguminosenvorfrucht positiv beeinflusst (Abb. 4), signifikant erhöht ist sie gegenüber Vorfrucht Getreide allerdings nur in der Variante ohne N-Düngung und auch hier nur bei Triticale und Sommergerste. Auch die Kornzahl/Ähre weist in der Tendenz nach Leguminosen höhere Werte auf als nach Getreide. Am wenigsten durch die Vorfrüchte beeinflusst wird das TKG.

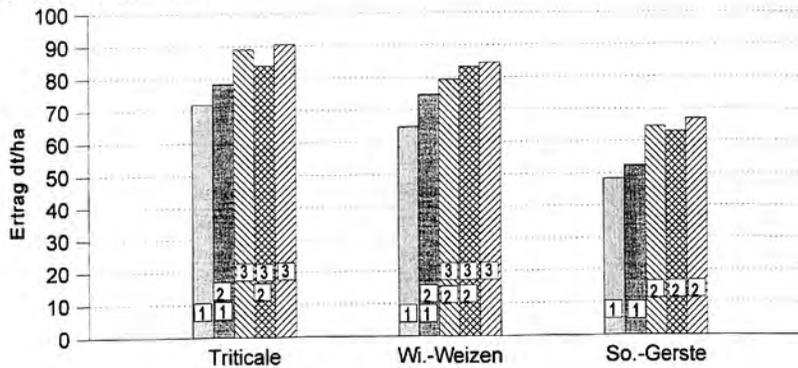
Qualitätseigenschaften der 1. Nachfrüchte

Ein sehr wesentliches Qualitätsmerkmal ist beim Getreide der Rohproteingehalt. Während er bei Futtergetreide und Backweizen hoch sein soll, wird für Braugerste ein niedriger Rohproteingehalt gefordert und bei 11,5 % Rohprotein in der Trockenmasse eine obere Grenze gesetzt. Leguminosenvorfrucht erhöhte den Rohproteingehalt bei allen drei nachgebauten Getreidearten und in beiden N-Stufen (Tab. 8), doch ist die Differenz zur Getreidevorfrucht nur in zwei Fällen signifikant. Vergleicht man die Vorfruchtwirkung mit der Wirkung der N-Düngung auf den Rohproteingehalt, so ist letztere bei Triticale und Winterweizen um ein Vielfaches größer. Bei Sommergerste ist die Wirkung beider Einflußfaktoren in etwa gleich und relativ gering. Lediglich in der Variante N-Düngung nach SBA ist der Rohproteingehalt nach Leguminosenvorfrucht signifikant höher als nach Getreidevorfrucht, der Grenzwert von 11,5 % wird aber nicht erreicht.

Variante: ohne N



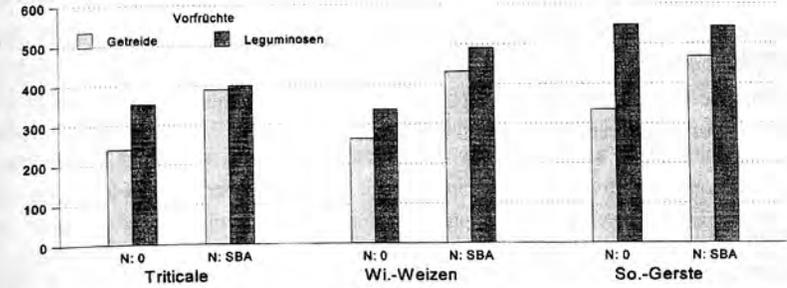
Variante: N nach SBA



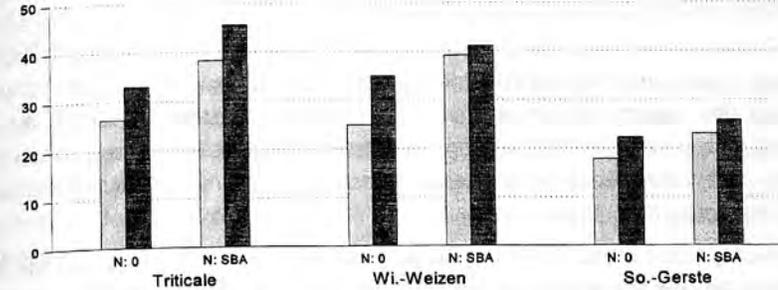
1 3 = signifikante Ertragsstufen (Säulen mit gleicher Ziffer unterscheiden sich nicht signifikant, Newmann-Keuls-Test, $\alpha = 5\%$)

Abbildung 3: Versuch 2 - Kornträge der 1. Nachfruchte

Ährentragende Halme/m²



Kornzahl/Ähre



TKG (g)

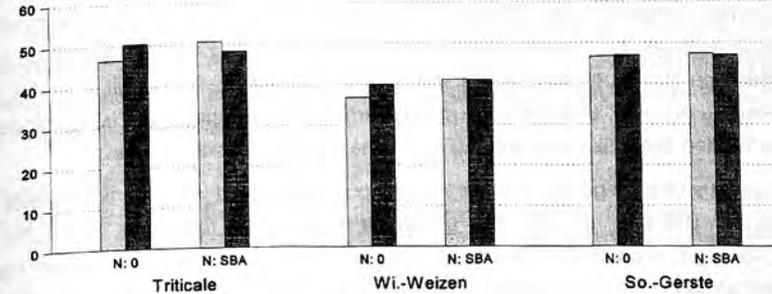


Abbildung 4: Versuch 2 - Einfluß der Vorfrucht auf die Ertragskomponenten bei der 1. Nachfrucht

Das Hektolitergewicht ist ein Maßstab für die Güte der Kornausbildung. Es wird durch Leguminosenvorfrucht sowie durch optimale N-Düngung gleichermaßen positiv beeinflusst (Tab.8).

Insgesamt gesehen wirken sich Leguminosen als Vorfrucht günstig auf die Qualität von nachgebautem Getreide aus. Bei Braugerste ist jedoch eine eventuelle N-Düngung nach Leguminosen besonders vorsichtig zu bemessen, um die kritische Marke von 11,5 % Rohprotein in der Trockenmasse nicht zu überschreiten.

Diskussion

Neben der Marktfruchtproduktion bzw. der Erzeugung von betriebseigenem Eiweißfutter ist der besondere Vorfruchtwert ein Argument für den Anbau großkörniger Leguminosen. Vorrangig wird dabei aber auch das Ziel verfolgt, getreideintensive Fruchtfolgen durch Blattfrüchte aufzulockern, weshalb als 1. Nachfrucht nach Leguminosen im allgemeinen Getreide stehen wird. Der Vorfruchtwert kann daher am Mehrertrag von Getreide nach Leguminosen im Vergleich zu Getreide nach Getreide gemessen werden. Dieser Mehrertrag hängt ganz entscheidend vom Bewirtschaftungssystem ab. Erhält die 1. Nachfrucht keinen mineralischen N-Dünger, wie beim ökologischen Landbau, ist die Ertragsdifferenz zwischen Getreide- und Leguminosenvorfrucht sehr viel größer als bei konventionellem Anbau mit N-Düngung.

Im ökologischen Landbau können, ähnliche Boden- und Klimabedingungen wie am Versuchsort Dornburg vorausgesetzt, nach Leguminosen als Vorfrucht 22 bis 30 dt/ha Getreide mehr geerntet werden als nach Getreidevorfrucht. Werden die in den durchgeführten Versuchen erzielten Mehrerträge der verschiedenen Getreidearten lediglich mit Erzeugerpreisen konventioneller Produktion bewertet, so ergeben sich für den Vorfruchtwert von Leguminosen 500 bis 680 DM/ha, im Mittel 575 DM/ha. Kann das geerntete Getreide tatsächlich als Ökoprodukt vermarktet werden, sind mehr als doppelt so hohe Erzeugerpreise zu erzielen, und der Vorfruchtwert erhöht sich entsprechend. Leguminosen sind daher für den ökologischen Landbau eine nahezu unverzichtbare Kultur.

Der weitaus überwiegende Teil der Körnerleguminosen wird jedoch in konventionell wirtschaftenden Betrieben erzeugt. Hier gelten die Regeln guter fachlicher Praxis, die u. a. eine bedarfsgerechte Nährstoffversorgung beinhalten. Die N-Düngung erfolgt nach Stickstoffbedarfsanalyse (SBA) auf der Basis des N_{min} -Gehaltes im Boden. Bei dieser Bewirtschaftungsform ist, wiederum auf mit dem Versuchsort Dornburg vergleichbare Bedingungen bezogen, nach Leguminosenvorfrucht mit 12 bis 15 dt/ha höheren Getreideerträgen zu rechnen als nach Getreidevorfrucht. Der Vorfruchtwert von Leguminosen kann entsprechend mit 250 bis 350 DM/ha, im Mittel mit 300 DM/ha, angesetzt werden.

Hinweise über das Zustandekommen des Mehrertrages nach Leguminosenvorfrucht

geben die Ertragskomponenten. Es sind insbesondere die Anzahl ährentragender Halme und die Kornzahl/Ähre, die nach Leguminosen erhöht sind. Diese Vorfrucht fördert offenbar die Entwicklung von Bestockungstrieben und Blüten bei der Nachfrucht Getreide bzw. wirkt der Reduktion dieser Organe entgegen. Letzteres ließe sich durch eine besonders bedarfsgerechte Nährstoffversorgung erklären. Die relativ geringen Unterschiede zwischen den Vorfrüchten Getreide und Leguminosen im N_{min} -Gehalt des Bodens zu Vegetationsbeginn lassen angesichts der beachtlichen Ertragsunterschiede der 1. Nachfrucht vermuten, daß während des Wachstums noch erhebliche N-Mengen aus den Wurzel- und Ernterückständen der Leguminosen mineralisiert werden und kontinuierlich für die Versorgung der Pflanzen zur Verfügung stehen. Dieser nur langsame Mineralisierungsprozeß könnte in auswaschungsgefährdeten Gebieten dem Austrag von Stickstoff in das Grundwasser entgegenwirken.

Neben dem Ertrag an sich wird durch Leguminosen als Vorfrucht auch die Qualität des Erntegutes positiv beeinflusst, z. B. durch bessere Kornausbildung und höheren Rohproteingehalt.

Aufgrund der Ergebnisse einmaliger Untersuchungen zur Nachwirkung des besonderen Vorfruchtwertes von Leguminosen auf die 2. Nachfrucht ist zu vermuten, daß diese, zumindest unter den Bedingungen des Versuchsortes Dornburg, sehr gering und kaum nachweisbar ist. Darauf deuten bereits die völlig ausgeglichenen N_{min} -Gehalte im Boden nach Ernte der 1. Nachfrucht hin. Eine langfristige Bodenverbesserung durch den Leguminosenanbau ist allerdings anzunehmen.

Die drei als Vorfrüchte angebauten Körnerleguminosenarten Futtererbse, Ackerbohne und Weiße Lupine unterscheiden sich bezüglich ihres Einflusses auf den Ertrag der 1. Nachfrüchte nur wenig. Ihr Vorfruchtwert ist daher als annähernd gleich anzusehen.

Um die Reproduzierbarkeit der vorgelegten Ergebnisse zu überprüfen und gleichzeitig den Vorfruchtwert von Körnerleguminosen mit dem von anderen guten Vorfrüchten (Raps, Kartoffeln) zu vergleichen, wird 1997/98 in Dornburg ein weiterer Versuch zu dieser Fragestellung angelegt.

Literatur

Brinkmann, J. (1996). Bedeutung in Bodennutzungssystemen. In: Brinkmann, J. & Abel, H. (Hrsg.), Potentiale und Perspektiven des Körnerleguminosenanbaus in Deutschland. UFOP-Schriften, Heft 3, Bonn, 99 - 124.

Landessortenversuche Lupinen in Baden-Württemberg (1995-97)

Klaus Mastel und Jürgen Ott

Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim

Kutschenweg 20

76287 Rheinstetten

Zusammenfassung

Die Landwirtschaftsverwaltung Baden-Württemberg prüft seit 1995 Lupinensorten auf ihre agronomischen (Krankheitsanfälligkeiten, Standfestigkeit, Reife und Ertragsleistung) und qualitativen (TKG, Rohproteingehalt) Eigenschaften. Probleme bei der Durchführung der Feldversuche traten insbesondere durch Anthracnose und eine zum Teil späte Abreife der Sorten auf. Bei Betrachtung aller 3 Anbaujahre (1995-97) stellte sich die Amiga als die agronomisch wertvollste Sorte heraus. 1997 schnitt die erstmals geprüfte blaue Lupinensorte Bordako ebenfalls deutlich überdurchschnittlich ab. Auf einem sandigen Standort erreichten gelbe Lupinensorten Kornträge, die mit den Erträgen der weiß- oder blaublühenden Sorten vergleichbar waren.

Abstract

Since 1995 lupin varieties have been tested in Baden-Württemberg with respect to their agronomic (disease abundance, growth, time of harvest and yields) and qualitative properties (seed dry weight, crude protein content). Field trials were impaired by anthracnose and late ripening of some varieties. With respect to the 3 years 1995-1997 the white lupin variety Amiga showed best agronomic properties. In 1997, the blue lupin variety Bordako exhibited good performance. On sandy soils, yellow lupins reached seed yields which were comparable to those of *L. albus* and *L. angustifolius*.

Keywords: Lupins, Varieties, Seed yield, Anthracnose

Einleitung:

Die Landwirtschaftsverwaltung Baden-Württemberg führt zu allen wichtigen Marktfrüchten des Ackerbaus Sortenprüfungen durch. Diese sogenannten Landessortenversuche (LSV) werden zentral an der Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim (LAP) in Zusammenarbeit mit den Fachreferaten der Regierungspräsidien geplant, dezentral verteilt in ganz Baden-Württemberg angelegt und wiederum zentral an der LAP ausgewertet. Über die Ergebnisse informieren die Schriftenreihe „Informationen für die Pflanzenpro-

duktion" und die landwirtschaftlichen Wochenblätter des Landes.

Die Lupine wurde aus mehreren Gründen in das Versuchsprogramm aufgenommen. Als Leguminose und Low-Input-Pflanze sowie aufgrund des hohen Vorfruchtwertes stellt sie pflanzenbaulich eine sehr wertvolle Nutzpflanze in der Fruchtfolge dar. Der Anbau ist betriebswirtschaftlich durch die Förderung im Rahmen der EU-Kulturpflanzenregelung und in der Tierernährung durch hohe Eiweißgehalte der Lupinenkörner interessant.

Material und Methoden:

Die LSV Lupinen werden seit 1995 als randomisierte Blockanlage mit 4 Wiederholungen durchgeführt. Weißblühende Sorten werden seit 1995 und blaue Lupinensorten seit 1997 geprüft. Gelbe Lupinen standen 1997 in einer Wertprüfung. Die Standortbedingungen der ausgewerteten Versuche sind aus Tab. 1 ersichtlich.

Tab. 1: LSV Lupinen 1995-97; Standortbedingungen

Standort	Jahr	Reife- gebiet	Höhe über NN (m)	Nieder- schlag im Jahresmit- tel (mm)	Temp. °C im Jahres- mittel	Boden- art
Krauchenwies	1995	mittelpät	620	760	7,7	sL
Owingen	1996	mittelfrüh	540	820	8,0	sL
Forchheim	1997	früh	117	742	10,1	IS
Linx	1997	früh	133	925	9,4	sL

Ergebnisse und Diskussion:

Probleme bei Anbau und Versuchsdurchführung:

1995 und 1996 waren von 3 bzw. 4 Versuchen nur jeweils ein Versuch auswertbar. In den ersten beiden Jahren zeigte sich, daß Versuche mit Kulturen, über deren Anbau wenig praktische Erfahrungen vorliegen, schwierig durchzuführen sind. Es kristallisierten sich zwei wichtige Problemkreise, die Anthracnose und die zum Teil späte Abreife der Sorten, heraus.

Es ist beim Anbau von unbekanntem Kulturen immer schwierig, Krankheiten zu erkennen, ihren Verlauf und ihr Schädigungspotential abzuschätzen und rechtzeitig die richtigen Bekämpfungsmaßnahmen einzuleiten. Dies gilt ganz besonders für die Anthracnose, die innerhalb weniger Tage mehrere Versuche zerstörte. Das zweite Problem war die Spätreife einiger Sorten. Unter den ungünstigen Witterungsbedingungen im Herbst 1996 reiften an zwei mittelspäten Standorten die Bestände viel zu spät ab, waren nicht druschfähig und die Versuche nicht auswertbar.

Somit blieben 1995 und 1996 nur jeweils ein Standort für die Auswertung übrig. 1997 waren beide angelegten Versuche auswertbar. Die pflanzenbaulichen Ergebnisse sind in Tab. 2 und 3 zusammengefaßt.

Tab. 2: LSV Lupinen 1997; Kornerträge (dt/ha) der Sorten an 2 Standorten

Sorte	Linx	Forchheim	Mittel
Bardo	31,0	26,3	28,6
Bordako	50,7	30,9	40,8
Borweta	34,6	26,4	30,5
Amiga EU	66,7	31,6	49,2
Lublanc EU	45,1	24,7	34,9
Luto EU	43,8	23,5	33,6
Durchschnitt Gesamt	45,3	27,2	36,3
Grenzdif. 5 % Sorten	8,0	4,5	6,3

Leistungen der Sorten:

Amiga erreichte in Linx 1997 einen sensationellen Ertrag von 66,7 dt/ha. Sie war nicht nur in diesem Jahr sondern auch im mehrjährigen Mittel die mit Abstand ertragsstärkste Sorte. Sie ist standfest und hinterließ bezüglich ihrer Gesundheit einen guten Eindruck. Bei der Reifezeit ist sie im derzeit geprüften Sortiment den eher etwas späteren Sorten zuzurechnen.

Die Sorte Minori und die EU-Sorten Lublanc sowie Luto schnitten ertraglich immer unterdurchschnittlich ab. Die 1996 beste Sorte Bardo versagte 1997 und erreichte relativ nur 87 %. Das Ergebnis muß unter Berücksichtigung der Tatsache interpretiert werden,

daß Bardo 1997 an beiden Standorten schlecht aufief und Keimfähigkeitsprobleme durch das verwendete Beizmittel nicht auszuschließen waren.

Tab. 3: LSV Lupinen 1995-97, Zusammenfassung pflanzenbaulicher Ergebnisse

Sorten	Relativerträge					Anfälligkeit für				Lagerneigung		Anzahl Tage	
						Welke		Ascochyta					
	1995 ¹	1996 ¹	1997 ²	Ø 96/97	Ø 95-97	1996	1997	1996	1997	1996	1997	1996	1997
Bardo	-	119	83	95	-	1.0	3.5	2.7	3.5	9.0	1.9	138	122
Bordako	-	-	113	-	-	-	3.3	-	4.8	-	2.9	-	125
Borweta	-	-	87	-	-	-	3.6	-	3.3	-	2.5	-	121
Amiga EU	104	108	132	124	119	1.0	2.5	4.7	2.8	7.2	1.4	140	129
Lublanc EU	-	97	95	96	-	1.8	3.4	4.7	3.8	8.5	4.3	146	127
Luto EU	-	100	91	94	-	1.0	3.6	3.0	3.0	8.8	3.4	139	125
Mittel (rel.100 =dt/ha)	22.2	30.8	36.3	33.6	29.8		3.3	3.7	3.5	8.5	2.7	140	125
Minori	67	87	97*	92*	84*		-	4.0	-	8.8	1.0	143	120

^{1,2,3}Anzahl der Standorte; * nicht an allen Standorten geprüft

Bei den 1997 erstmals geprüften blauen Lupinen überraschte Bordako mit einem Ertrag von 40.8 dt/ha (113 %) und fiel zusätzlich durch einen hohen Rohproteingehalt auf. Borweta ist aufgrund einjähriger Ergebnisse eher für leichte Standorte geeignet. Sie schnitt auf dem leichten Boden in Forchheim im Vergleich zu den anderen Sorten relativ besser ab als auf dem sandigen Lehm in Linx. Beide Sorten haben ein deutlich geringeres TKG und waren in Forchheim früher reif als die weißen.

Ertragsentwicklung und Ertragsvergleiche:

Die Durchschnittserträge nahmen von 1995 mit durchschnittlich 22,2 dt/ha auf 36,3 dt/ha 1997 zu. Dabei zeigen die Ertragsleistungen 1997 in Linx mit durchschnittlich 45,3 dt/ha, zu welchen Leistungen die Lupine bei guten Bedingungen fähig ist. Auf dem lehmi-

gen Sand in Forchheim konnten die Sorten mit durchschnittlich 27,2 dt/ha ihr Potential nicht ausschöpfen. Im Vergleich dazu wurden in einer Wertprüfung des Bundessortenamtes mit gelben Lupinensorten auf demselben Schlag durchschnittlich 25,0 dt/ha gedroschen. Dies deutet darauf hin, daß auf extrem leichten Standorten die Ertragsüberlegenheit der weißen und blauen Sorten deutlich zurückgeht bzw. nicht mehr vorhanden ist.

Neben den Ertragsleistungen der Lupinensorten werden in den LSV ebenfalls die agronomischen Leistungen der wichtigen Körnererbsen- und Ackerbohnsorten geprüft. Im Mittel über alle Standorte waren 1997 die Lupinen mit 36,3 dt/ha deutlich den Durchschnittserträgen bei Körnererbsen und Ackerbohnen mit jeweils 58 dt/ha unterlegen. Um der Lupine gerecht zu werden, müßte man die Ertragsleistungen am jeweils gleichen Standort vergleichen. Darüberhinaus gilt es, die hohen Rohproteingehalte zu berücksichtigen, weswegen 1998 zusätzlich Fütterungsversuche mit Mastschweinen ergänzend durchgeführt werden.

Unkrautbekämpfung in Gelb- und Weißlupine

Bärbel Dittmann

Lehr- und Versuchsanstalt für Integrierten Pflanzenbau e.V. Güterfelde
(ab 01.01.1998 Landesanstalt für Landwirtschaft des Landes Brandenburg,
Abteilung Acker- und Pflanzenbau)
Berliner Straße
14532 Güterfelde

Zusammenfassung

In mehrortigen Versuchen zur Unkrautbekämpfung in Gelb- und Weißlupine wurden in den Jahren 1995 und 1996 Herbizide auf ihre Kulturpflanzenverträglichkeit und auf ihren Ertragseinfluß überprüft. Die Ergebnisse zeigen, daß die Lupinenarten unterschiedlich auf die Herbizide reagieren. Voraufaufanwendungen erwiesen sich bei entsprechender Bodenfeuchte am sichersten. In Gelb- und Weißlupine überzeugten ertragsseitig die Voraufaufherbizide Stomp SC, Goltix WG, Fenikan, Harpun und Stentan. Zur Nachaufaufanwendung wurden nur in Gelblupine gute Ergebnisse durch Lentagran WP und die Tankmischung Lentagran WP plus Betanal Progress erzielt. In Weißlupine führten alle getesteten Nachaufauf-Varianten zu nicht tolerierbaren Kulturpflanzenschäden.

Abstract

Weed control in *L. luteus* and *L. albus* cultures was studied at several sites in Germany during 1995 and 1996. Especially the influence of herbicides on growth and yield was evaluated. Both lupin species show different responses towards herbicides. The application of herbicides are safe before lupin seedlings emerge if soil humidity is sufficient. The herbicides Stomp SC, Goltix WG, Fenikan, Harpun, and Stentan increased yields in yellow and white lupins. After germination and seedlings growth Lentagran WP and Lentagran WP plus Betanal Progress had positive results only in yellow lupins, whereas all herbicides caused damage to white lupins at this growth stage.

Key Words: *L. albus*, *L. luteus*, herbicides, weed competition, weed control, herbicide recommendation

Einleitung

Die Entwicklung von Lupinen hängt entscheidend davon ab, wie es gelingt, die Unkrautkonkurrenz zu begrenzen. Dabei nehmen die Unkräuter nicht nur Einfluß auf die Entwicklung der Lupinen selbst, sondern auch auf die Ertragsfähigkeit und insbesondere auf das Abreifeverhalten. Das sollte bereits bei der Flächenauswahl bedacht werden, um einen zu hohen Unkrautdruck und sehr schwer bekämpfbare und konkurrenzstarke Unkräuter und Ungräser von vorn herein auf ein Minimum zu reduzieren.

Bei geringem Unkrautdruck und im ökologischen Landbau sind mechanische Pflegemaßnahmen in Betracht zu ziehen. Das Striegeln nach der Saat ist bei guter Saatbettbereitung meist nicht erforderlich und kann bei einer schnell verlaufenden Keimung oder bei zu geringer Aussaatiefe zur Schädigung der Kotyledonen bereits wenige Tage nach der Saat führen. Blindstriegeln muß deshalb als problematisch betrachtet werden. Das Striegeln während der Jugendentwicklung der Lupinen ist möglich und kann in der Zeit des Vierblattstadiums der Lupine durchgeführt werden. Zu beachten ist, daß nur in trockenen Beständen gestriegelt wird, wenn die Pflanzen einen geringen Turgor aufweisen, d.h. vorzugsweise in den warmen Mittagsstunden, um die Pflanzenschäden zu minimieren.

Mit den spätsaatverträglichen Gelblupinensorten ist der Unkrautkonkurrenz durch die geringere Zeitspanne zwischen Saat und Auflauf und die dadurch schnellere und stärkere Konkurrenz der Lupinenpflanzen selbst zu begegnen. Gänzlich kann man jedoch auch dann nur selten auf eine aktive Unkrautbekämpfung verzichten. Der chemischen Unkrautbekämpfung wird in der Praxis (Ökolandbau ausgeschlossen) häufig der Vorzug gegeben. Das hängt mit der Möglichkeit der günstigeren arbeitswirtschaftlichen Einordnung und den zur mechanischen Pflege vergleichsweise guten Bekämpfungsgraden zusammen. Die zur Verfügung stehende Herbizidpalette ist jedoch recht begrenzt. Erschwerend kommt hinzu, daß die Lupinenarten aufgrund ihrer unterschiedlichen morphologischen und physiologischen Merkmale auch unterschiedlich auf eine chemische Unkrautbekämpfung reagieren.

Die Ankündigung der Realisierung des Pflanzenschutzgesetzes auf der Basis der Lückenindikation war für die LVAP Güterfelde 1993 der Auslöser für umfangreiche Untersuchungen zur chemischen Unkrautbekämpfung in Gelb- und Weißlupine. Die Umsetzung der Richtlinie 91/414/EWG in nationales Recht hat zur Folge, daß die amtliche Zulassung von Pflanzenschutzmitteln kulturenbezogen erfolgt und die Anwendung nur im Zulassungsumfang erfolgen darf. Dadurch entstehen in vielen Anwendungsgebieten Lücken. Die Lückenindikation wird von PALLUTT (1996) wie folgt definiert: Unter Lückenindikation werden Anwendungsgebiete von geringfügigem Umfang bzw. geringer gesamtwirtschaftlicher Bedeutung verstanden, für die keine oder keine ausreichenden und praktikablen Bekämpfungsverfahren existieren oder für die die zugelassenen Pflanzenschutzmittel keine oder keine ausreichende Problemlösung gewährleisten, z.B. im Hinblick auf Verfahren

des integrierten Pflanzenschutzes.

Material und Methoden

Weil die dikotylen Unkräuter meist größere Probleme als die Gräser bei der Bekämpfung bereiten, wurde in Güterfelde seit 1993 eine Vielzahl an Herbiziden auf ihre Verträglichkeit in Gelb- und Weißlupine getestet. Aus den getesteten Varianten wurden die aussichtsreichsten Herbizide ausgewählt und 1995 und 1996 mehrortig in Herbizidversuchen angelegt, um die Aussagesicherheit zu erhöhen. Es erfolgte die Bewertung der Kulturpflanzenverträglichkeit und des Kornertrages.

Die Herbizidvarianten wurden in einer randomisierten Blockanlage mit vier Wiederholungen je Standort angelegt. Folgende Institutionen stellten ihre Versuchsergebnisse der Jahre 1995 und 1996 aus den abgestimmten Versuchen zur chemischen Unkrautbekämpfung in Lupinen zur gemeinsamen Auswertung zur Verfügung:

Dittmann, B.; Adam, L.	Lehr- und Versuchsanstalt für Integrierten Pflanzenbau e.V. Güterfelde
Möller, W.	Saatzucht Steinach GmbH, Station Bornhof
Dexheimer, I.	Landesamt für Ernährung und Landwirtschaft, Pflanzenschutzdienst Brandenburg
Dittrich, R.	Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Integrierter Pflanzenschutz, Dresden
Mahring, E.	Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Sachgebiet Pflanzenschutz, Dornburg
Heidel, W.	Landespflanzenschutzamt Mecklenburg-Vorpommern, Außenstelle Neubrandenburg

Die Versuche wurden überwiegend auf leichten Standorten mit Ackerzahlen zwischen 20 und 35 etabliert. Nur die Versuchsfläche am Standort Dornburg hob sich mit einer Ackerzahl von 65 von den leichten Standorten ab.

Nicht einbezogen wurde in die Untersuchungen die Anwendung von Graminiziden, da die Ungrasbekämpfung in Lupine als dikotyle Kultur unproblematisch und in der Praxis auch nur in wenigen Fällen erforderlich ist.

Die Quecke (*Elytrigia repens*) als das häufigste und konkurrenzstärkste Ungras insbesondere auf leichten Standorten kann bereits innerhalb der Fruchtfolge oder in Verbindung mit einer Reifebeschleunigung (Sikkation) bekämpft werden. Auch Hirsen können in

schlecht entwickelten und lückigen Lupinenbeständen bei entsprechendem Druck eine bekämpfungswürdige Konkurrenz entwickeln. Normalerweise ist eine gesonderte Bekämpfung jedoch nicht erforderlich. Zur Gräserbekämpfung ist der Einsatz aller Graminicide möglich. Schädigungen der Lupinenpflanzen sind nicht zu erwarten.

Ergebnisse und Diskussion

Die Bewertung der Phytotoxizität der Herbizide gegenüber Gelb- und Weißlupine ist in den Tabellen 1 und 2 standortbezogen dargestellt. Dabei erfolgte eine Unterteilung in Voraufherbizide (VA) und Nachaufherbizide (NA). Das bedeutet, daß die Herbizide entweder vor dem Auflaufen der Lupinen oder nach ihrem Auflaufen angewendet werden. Die Aufwandmengen wurden an die jeweiligen Standortverhältnisse angepaßt, befinden sich jedoch insgesamt auf einem geringen Niveau. In den Gelblupinebeständen (Tab. 1) schädigten die Herbizide Stomp SC, Igran 500, Goltix WG, Harpun und Stentan die Lupinen nur in Einzelfällen und auch dann nur gering in Form von leichten Blattaufhellungen und einer tolerierbaren Wuchshemmung. Fenikan schädigte entsprechend den Anwendungsbedingungen unterschiedlich stark, jedoch letztendlich nicht ertragswirksam. Das Nachaufherbizid Lentagran WP verursachte in Soloanwendung und in Tankmischung mit Betanal Progress nur geringe und tolerierbare Kulturpflanzenschäden. Hingegen schädigte das Herbizid Sencor WG in Nachaufherbizid an allen Standorten und zum Teil auch mit Pflanzenausfällen.

In den Weißlupinenbeständen (Tab. 2) verursachten alle getesteten Voraufherbizide keine oder nur geringe Phytotoxizität an den Lupinen, die auch am Standort Dornburg mit den stärksten Schädigungen tolerierbar war. Die Nachaufherbizide führten beim Einsatz in den Weißlupinen durchgängig zu stärkeren Schäden, die nicht nur zu einer Wuchshemmung, sondern auch zu Pflanzenausfällen führten. Die Anwendung dieser Nachaufherbizide kann in Weißlupinen nicht empfohlen werden.

Die bekannte Abhängigkeit der Unkrautwirkung der Voraufherbizide von der Bodenfeuchte wurde insbesondere durch die Wirkungsgrade gegenüber dem Weißen Gänsefuß (*Chenopodium album*), dem bedeutungsvollsten Leitunkraut im Lupinenanbau, verdeutlicht (Abb. 1). Der Wirkungsgrad war bei den Voraufherbiziden 1996 wesentlich geringer als 1995. Diese Wirkungsgrade sind hauptsächlich durch die langanhaltende Frühjahrstrockenheit 1996 bedingt worden, sodaß die Voraufherbizide bei starker Trockenheit und mit den verwendeten geringen Aufwandmengen in ihrer Anfangs- und Dauerwirkung nicht überzeugen konnten. Die Nachaufherbizide Lentagran WP, Betanal Progress und Sencor WG erreichten in beiden Jahren Wirkungsgrade über 90%. Die Terminisierung der Nachaufherbizid-Anwendung ist dabei entscheidend. Einerseits sollten viele Unkräuter aufgelaufen sein, und andererseits sind schwer bekämpfbare Unkräuter wie z.B. der Gemeine Windenknöterich (*Polygonum convolvulus*) im Keimblattstadium oder im ersten Laubblattstadium zu erfassen, um eine gute Wirkung sicherzustellen.

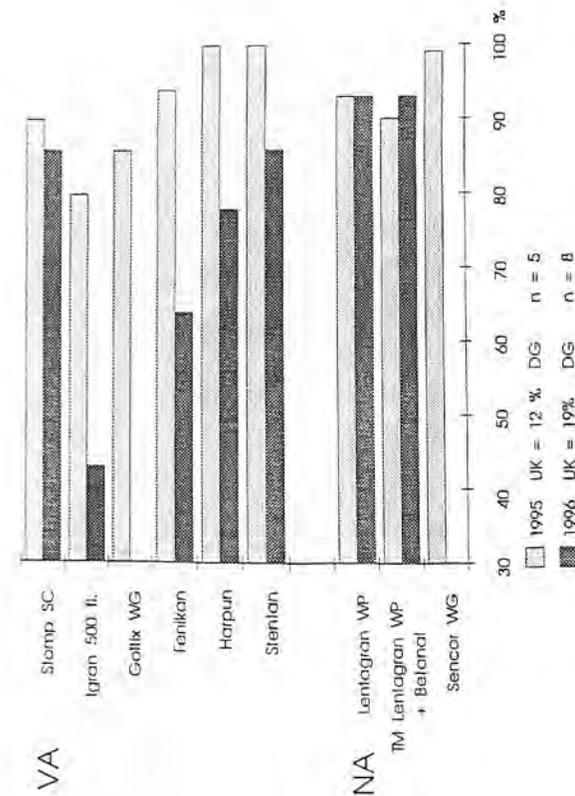


Abb. 1: Wirkungsgrad gegenüber *Chenopodium album* in Gelblupine

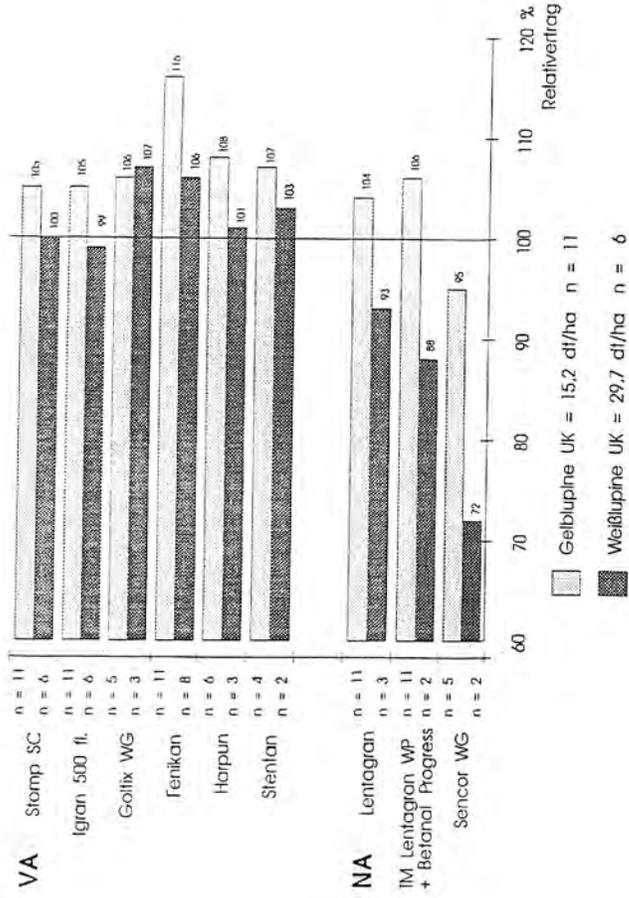


Abb. 2: Wirkung ausgewählter Herbizide auf den Lupinenertrag 1995 und 1996

Tab. 1: Gelblupine: Kulturpflanzenverträglichkeit der Herbizide, Mai 1995 und 1996
Anzahl der Versuche: 15

Variante	Menge l bzw. kg/ha	Bornhof	Frankfurt/O.	Dresden	Neubrandenburg
Stomp SC	3,0 - 4,0	0/0	0/0	0/0	0/0
Igran 500 fl.	2,0 - 3,0	0/0	7/7	8/1	0/0
Gollix WG	1,5 - 2,0	0/0	-	0/0	-
Fenikan	1,0 1,5	0/0 20/1	25/3 38/23	50/2 0/0	0/0 -
Harpun	3,5 - 4,5	0/0	0/0	8/1	0/0
Stentlan	3,0	0/0	0/0	25/2	0/0
Lentagran WP	2,0	0/0	5/3	92/4	0/0
TM Lentagran WP + Betonal Progress	1,0 1,0	0/0 50/1	10/2	100/6	0/0
Sencor WG	0,3 - 0,4	100/4	-	100/24	-

Phytotoxizität: Anteil der geschädigten Pflanzen / Beschädigungen der Blattfläche in %

Tab. 2: Weißlupine: Kulturpflanzenverträglichkeit der Herbizide, Mai 1995 und 1996
Anzahl der Versuche: 18

Variante	Menge l bzw. kg/ha	Güterfelde	Bornhof	Frankfurt/O.	Dresden	Dornburg	Neubrandenburg
Stomp SC	3,0 - 4,0	0/0	0/0	0/0	12/1	33/2	0/0
Igran 500 fl.	2,0 - 3,0	0/0	0/0	14/1	0/0	0/0	0/0
Gollix WG	1,5 - 2,0	0/0	0/0	-	0/0	-	-
Fenikan	1,0 - 1,5 2,0 - 2,5	0/0	0/0	17/3	50/1	50/7	0/0
Harpun	3,5 - 5,0	-	0/0	0/0	25/2	0/0	0/0
Stentan	3,0 - 4,5	-	0/0	0/0	0/0	43/6	0/0
Lentagran WP	2,0	100/30	0/0	67/60	100/14	-	-
TM Lentagran WP + Betanal Progress	1,0 1,0	100/30	100/3	-	100/7	-	-
Sencor WG	0,3 - 0,4	100/35	100/10	-	100/35	-	-

Phytotoxizität: Anteil der geschädigten Pflanzen / Beschädigungen der Blattfläche in %

Wie sich die Unkrautwirkung und die Kulturpflanzenverträglichkeit insgesamt auf den Ertrag auswirkten, ist in der Abbildung 2 dargestellt. Hier sind im Mittel der beernteten Versuche aller Versuchsansteller aus zwei Jahren die Relativerträge im Verhältnis zur unbehandelten Kontrolle dargestellt. Bei der Gelblupine wurden durch den Herbizideinsatz Mehrerträge von 4- 8 % erzielt. Abweichend davon konnte durch die Fenikan-Anwendung trotz stärkerer phytotoxischer Reaktionen an den Gelblupinen ein durchschnittlicher Mehrertrag von 16 % realisiert werden. Die stärkere Lupinenschädigung durch Sencor WG wurde ertragswirksam und dokumentiert sich in einem Relativertrag von 95 %.

In der Weißlupine wirkte sich nicht nur die Sencor WG- Anwendung ertragsmindernd aus, sondern alle getesteten Nachaufaflerherbizide führten zu einem deutlichen Minderertrag gegenüber der unbehandelten Kontrolle. Der Einsatz der verwendeten Voraufaflerherbizide sicherte in der Mehrzahl der Varianten Mehrerträge bis zu 7 %. Die schwächere Unkrautwirkung des Igran 500 flüssig hatte im Mittel der Jahre 1995 und 1996 keine Ertragssteigerung zur Folge. An diesem Beispiel verdeutlicht sich im Vergleich zur Ertragssteigerung von 5 % bei der Gelblupine die geringere Konkurrenzskraft der Weißlupine zur Unterdrückung von Unkräutern. Das Ertragsniveau der unbehandelten Kontrollen (ohne Unkrautbekämpfung) lag bei der Gelblupine im Mittel aus 11 Versuchen bei 15,2 dt/ha, bei der Weißlupine im Mittel von 6 beernteten Versuchen bei 29,7 dt/ha.

Untersuchungen zum Einfluß der chemischen Unkrautbekämpfung auf den Rohproteingehalt der Lupinen im Jahre 1995 ergaben, daß durch die Unkrautbekämpfung nicht nur eine Ertragssteigerung absolut, sondern auch eine geringe Erhöhung der Rohproteingehalte bei Gelb- und Weißlupine erzielt wurde (Tab. 3). Der allgemein höhere Rohproteingehalt der Gelblupine gegenüber der Weißlupine widerspiegelt sich in diesen Ergebnissen und sollte bei der Bewertung des Ertragsniveaus der Lupinenarten berücksichtigt werden.

Tab. 3: Einfluß der Unkrautbekämpfung auf den Rohproteingehalt bei Lupinen
Ringversuch, Standort Güterfelde, 1995

Varianten	Menge l bzw. kg/ha	Rohprotein %	
		Gelblupine	Weißlupine
Unbehandelte Kontrolle	-	39,9	36,6
Stomp SC	3,0	40,6	38,4
Fenikan	1,0	41,8	37,6
Lentagran WP	2,0	41,4	39,5

Aus den Ergebnissen der mehrortigen Versuche lassen sich folgende Schlußfolgerungen ziehen:

- Gelb- und Weißlupine reagieren unterschiedlich auf Herbizidanwendung
- Voraufaufanwendungen sind im Lupinenanbau am sichersten und bilden den Schwerpunkt bei der chemischen Unkrautbekämpfung
- die Witterungsverhältnisse, insbesondere die Bodenfeuchte und die Niederschläge beeinflussen die Wirksamkeit und Verträglichkeit der Herbizide
- in Gelb- und Weißlupine überzeugten ertragsseitig die im Voraufauf angewendeten Herbizide Stomp SC, Goltix WG, Fenikan und die Kombinationsprodukte mit dem Wirkstoff Pendimethalin Harpun und Stentan
- Fenikan wies die höchste Differenzierung bei der Phytotoxizität auf
- in Gelblupine war die Anwendung von Lentagran WP und der Tankmischung Lentagran WP + Betanal Progress im Nachaufauf erfolgreich
- die Nachaufaufanwendung von Sencor WG schädigte die Gelblupine unterschiedlich, meist jedoch stark, so daß der Einsatz nicht empfohlen werden kann
- in Weißlupine führten alle 3 getesteten Nachaufauf-Varianten zu nicht tolerierbaren Pflanzenschäden
- eine im Einzelfall notwendige Gräserbekämpfung kann mit handelsüblichen Graminiziden erfolgen
- der Rohproteingehalt der Lupine wird durch Herbizidanwendung nicht beeinträchtigt
- die Ergebnisse der Ringversuche wurden dem Arbeitskreis Lückenindikation beim BML zugearbeitet.

Herbizidempfehlung Gelb- und Weißlupinen

	Präparat	Mittelmenge
Voraufauf	Stomp SC *	3,0 - 4,0 l/ha
Gelb- und Weißlupine	Fenikan	1,0 - 1,5 l/ha
	Igran 500 flüssig	2,0 - 3,0 l/ha
	Boxer	3,0 - 4,0 l/ha
	Goltix WG	1,5 - 2,0 kg/ha
	Harpun	3,5 - 5,0 l/ha
	Stentan	3,0 - 4,5 l/ha
Nachaufauf	Lentagran WP *	2,0 kg/ha
nur für Gelblupine	TM Lentagran WP	1,0 kg/ha
	+ Betanal Progress	1,0 l/ha

* amtliche Zulassung

Literatur

- Pallutt, W. (1996). Lückenindikation bei Nachwachsenden Rohstoffen- aktuelle Situation im Feldbau. Güterfelder Mitteilungen IV /1996,10-13.
- Rothmaler, W. (1991). Exkursionsflora, Atlas der Gefäßpflanzen. 752 S.

Süßlupine - Möglichkeiten der Veredelung zu Lebensmitteln im Erzeugerbetrieb

Marcella Gutmann

Technische Universität München

Institut für Ernährungswissenschaft

Lehrgebiet Bromatologie - Hygiene und Technologie der Nahrung

Alte Akademie 16

85350 Freising- Weihenstephan

ZUSAMMENFASSUNG

Derzeit werden Süßlupinen in Deutschland faktisch nur zu Futtermitteln verarbeitet. Auch in Europa sind Lebensmittel aus Lupinensamen nur in geringen, volkswirtschaftlich nicht ins Gewicht fallenden Mengen im Handel. Diese Situation ist sehr bedauerlich; denn zum einen lassen sich aus Süßlupinensamen auch ohne größeren technischen und finanziellen Aufwand schmackhafte Lebensmittel und interessante Lebensmittelzutaten herstellen. Die Veredelung von Süßlupinensamen zu Lebensmitteln setzt ein Konditionieren durch Schälen, Entbittern und Weichen voraus. Sofern das Weichen in einer Genußsäure vorgenommen wird, muß für die weitere Verarbeitung erforderlichenfalls gewässert werden. Beim Schälen zerfällt das Samen der weißen Süßlupine meist in seine Hälften. Diese sind nach Entbittern, Weichen und Wässern nahezu so groß wie ein Pfennigstück und weisen ein blasses Maisgelb und einen neutralen Geschmack auf. Da der an grüne Schnittbohnen erinnernde Geruch des Ausgangsproduktes durch die Konditionierung verloren geht, ist der konditionierte Samen geruchlich und geschmacklich sehr mannigfaltig zu prägen; ein Vorzug, den nicht sehr viele Zwischenprodukte aufweisen. Samen von *L. albus* eignen sich so gleichermaßen für die Veredelung zu süßen wie zu pikanten Spezialitäten.

Abstract

The article provides a review on the utilisation of sweet lupin seeds for human nutrition. Treatment of lupin seeds with dilute organic acids, results in a yellow product of neutral taste. A wide variety of dietary products can be produced from conditioned lupin seeds, especially sweet or spicy food ingredients.

Key words: Süßlupinensamen - Entbittern - Konditionieren - Lebensmittel - Lebensmittel-

zutat

EINLEITUNG

Sinkende Einkommen zwingen auch die deutsche Landwirtschaft, neue Erwerbszweige zu erschließen. Dies gilt nicht nur auf dem Sektor Urproduktion, sondern mehr noch auf dem Sektor Veredelung. Die sich schon auf breiter Basis präsentierenden Bemühungen der landwirtschaftlichen Betriebe um Produktdiversifikation zeigen markante Erfolge. Der Markt offeriert bereits eine große Vielfalt betriebsinnovativ auch höher veredelter Urprodukte, bei denen Erzeugung, Veredelung und Vermarktung in einer Hand liegen. Erinnert sei nicht nur an die Produktion und Selbstvermarktung von Sauerkraut und Sauergemüse, Rindfleisch in Teilstücken, Bauerngeräuchertem, Bauernbrot, Nudeln, kaltgepresstem Rapsöl, Kräuteressig und -öl, Eierlikör und anderen Spirituosen, sondern insbesondere auch schon von hygienisch-technologisch komplizierteren Produkten, wie beispielsweise mit Farce aus Fleisch und Ei gefüllten Teigwaren. Je mehr sich der Markt für Produkte des traditionellen Sortiments sättigt, umso mehr werden sich die Betriebe nicht nur um betriebsinnovative, sondern auch um marktinnovative Erzeugnisse aus vorzugsweise betriebseigenen Urprodukten bemühen müssen.

Lupinensamen sind in dieser Perspektive ein besonders interessantes Urprodukt, die sich für die Veredelung im landwirtschaftlichen Betrieb durchaus auch zukaufen ließen.

Nahrungsmittel aus Lupine

Die Lupine ist eine Nutzpflanze, die in Ägypten schon vor 2000 Jahren kultiviert und wie in den anderen Mittelmeer-Anrainerstaaten bis in die Neuzeit nicht nur als Futter, sondern auch als Lebensmittel genutzt wird. Daß Lupinensamen für den menschlichen Verzehr zur Gewährleistung von Bekömmlichkeit entbittert werden muß, ist von alters her bekannt. Man bewerkstelligt dies dadurch, daß die in Leinensäckchen verpackten Samen über mehrere Stunden ggf. in Meerwasser gewässert werden. In Süditalien wurden Lupinensamen noch bis Ende des 19. Jahrhunderts auf breiter Basis als Nahrungsmittel verwendet (SCHOENEGER, 1981)

Vor und während des Zweiten Weltkrieges wurden Lupinen in Deutschland in größeren Mengen angebaut. Nach dem Krieg wurde der Anbau mit Ausnahme der sowjetischen Besatzungszone zugunsten des Importes von Sojaschrot aufgegeben. Wichtige Anbaugebiete von Süßlupine liegen heute v.a. im Mittleren Osten, in Spanien, Portugal, Australien und Südamerika (GABRIAL et al., 1976). In diesen Ländern dienen Lupinensamen auch der menschlichen Ernährung, so z.B. als Knabberartikel, der durch Kochen der Körner in Salzwasser und anschließendes Trocknen zu gesalzener Erdnuß ähnlichen Erzeugnissen konfektioniert wird. In Südamerika und insbesondere in Peru und Ecuador werden entbitterte Lupinensamen von *L. mutabilis* zu Gemüsebeilagen, Salaten, Breien

und Suppen verarbeitet, darüber hinaus aber auch als Protein anreichernde Zutat bei Brot verwendet (GABRIAL et al., 1976; SCHOENEGER, 1981; MAUDERER, 1992)

Welche sensorischen, chemischen, ernährungsbiologischen und technologischen Besonderheiten kennzeichnen die Samen der weißen Süßlupine?

Lebensmittel aus Lupinen sind in Deutschland allenfalls in Form einiger weniger Sonderprodukte in Verkehr. Zu ihnen zählen Erzeugnisse vom Typ einer Art Tofu oder einer Art vegetarischer Wurst vorwiegend aus Kartoffel.

Hinsichtlich der *sensorischen Besonderheiten* der Rohware, mit der am Institut für Ernährungswissenschaft der TUM experimentiert wird, ist mitzuteilen, daß die von weißer Süßlupine der Sorte 'Amiga' stammende Samen etwa erbsengroß, bis zu 4 mm dick und von einer weißlichen, derben, durch Quellen in Wasser jedoch sehr rasch aufweichenden Schale umgeben ist. Das geschälte Samen ist maisgelb, im Biß sehr hart und erinnert im Geruch und im dezent süßlichen Geschmack an rohe Schnittbohnen. Nach Vermahlen von unbehandelten Lupinensamen resultiert ein Mehl von heller, maisgelber Farbe, das zum Schutz vor Fettoxidation und Off-Flavour lichtgeschützt gelagert werden muß. Beim Verzehr von etwa einem Teelöffel Mehl wird eine leicht bittere Geschmacksnote wahrgenommen (PFEIFFER et al., 1997).

Geschälte Lupinensamen weisen einen Trockenmassegehalt von 87,1% auf. Die *chemische Zusammensetzung* der Trockenmasse von *L. albus* cv. 'Amiga' beruht nach LUCK et al. (1995) auf 48,4% Protein, 15,2% Fett, 17,9% Zucker, 2,6% Rohfaser, 4,1% Asche und 11,7% N-freiem Extrakt. Das *Lupinenprotein* besteht zu 87% aus Speicherproteinen der Globulinfraction und zu 13% aus Albumin (DURANTI et al., 1979). Lupinenprotein ist insoweit mit Sojaprotein vergleichbar (SCHALLENBERGER, 1991), das ebenfalls etwa 90% Globuline und 10% Albumine enthält (BELITZ et al., 1992). Albumine zählen zu den in Wasser, Globuline zu den in schwach konzentrierter Salzlösung löslichen OSBORNE-Fractionen. *Lupinenfett* enthält etwa 10% gesättigte Fettsäuren. Der Gehalt an einfach und mehrfach ungesättigten Fettsäuren umfaßt 52% Ölsäure, 16% Linolsäure und 11% Linolensäure. In der Lipidfraction von 100g Lupinensamen sind etwa 0,02 mg β -Carotin enthalten (HUDSON et al., 1976), die die sinnfällige Gelbfärbung des Lupinensamens bedingen. Der *Zuckergehalt* beruht auf 4,3% Saccharose und den für den Menschen nicht verdaulichen Oligosacchariden Raffinose bzw. Stachyose, die zu 2,9% bzw. 10,7% enthalten sind. Als Folge des anaeroben Abbaus dieser Substanzen durch Dickdarmbakterien kann sich ähnlich wie bei Bohnen unter Umständen Flatulenz ergeben, sofern neueren Studien zufolge nicht phenolische Inhaltsstoffe den Stoffwechsel der Darmflora hemmen (BELITZ et al., 1992). Süßlupinensamen enthalten sehr geringe Mengen an Alkaloiden, die den Bittergeschmack bedingen. Der als Lupanin berechnete Alkaloidgehalt des Samens von weißen Süßlupinen, mit dem die Versuche durchgeführt werden, beträgt 0,02%.

In *ernährungsbiologischer Hinsicht* zeichnen sich Süßlupinensamen v.a. durch einen sehr hohen Eiweißgehalt aus. Das *Lupinenprotein* ist wie Casein zu 92% verdaulich, ernährungsbiologisch jedoch nicht sehr hochwertig (SCHOENEGER et al., 1981). In 100 g Protein von gelber und weißer Süßlupine sind nur 4,7 bis 5,2 g Lysin, nur 0,8 g Tryptophan und v.a. nur 0,5 bis 0,8 g Methionin enthalten. Im Vergleich mit Sojaprotein weist Lupinenprotein so einen um 43% geringeren Methionin- und Tryptophangehalt auf (ROTH-MAIER et al., 1993). Die biologische Wertigkeit (BW), die angibt, wieviel g körpereigenes Eiweiß aus 100 g Nahrungseiweiß gebildet werden kann, ist beim Lupinenprotein mit 38,6 aufgrund des geringen Gehaltes an schwefelhaltigem Methionin jedoch immer noch etwas höher als beispielsweise die von Weizenprotein (BW 35) oder Erbsenprotein (BW 30). Auch beim Lupinenprotein läßt sich die biologische Wertigkeit durch Kombination mit einem Protein anderer Herkunft, so z.B. mit Brotgetreide-Protein, oder auch durch direkte Zugabe der limitierenden Aminosäure heute problemlos erhöhen. SCHOENEGER et al. (1981) erachten Lupinenprotein als eine sehr wertvolle Eiweißquelle, deren BW sich durch Zusatz von 0,2% Methionin von 38,6 auf 66,5 erhöhen und damit in etwa der BW von Casein (BW 74,3) annähern läßt.

An *Vitaminen* sind in nicht unbedeutender Menge B₁, B₆ und Pantothen säure enthalten, an *Mineralstoffen* Eisen, Zink und Selen. Der Gehalt an Spurenelementen ist mit Ausnahme von Mangan, das mit 470 mg/kg im Lupinensamen besonders reichlich vorhanden ist, als eher gering zu beurteilen (ROTH-MAIER et al., 1993). Der Mineralstoff- und Mangengehalt kann je nach Sorte und Anbaubedingungen nicht unerheblich differieren. So beträgt beispielsweise der Mangengehalt der weißen Lupine cv. 'Lublanc' 1200mg/kg, derjenige der gelben Lupine cv. 'Juno' 92 mg/kg; der Eisengehalt von 'Lublanc' 64mg/kg, derjenige von 'Juno' 112mg/kg (ROTH-MAIER et al., 1993).

Einen besonderen Vorteil weisen Lupinensamen gegenüber der Sojabohne insofern auf, als sie keine verdauungshemmenden Trypsininhibitoren enthalten (HILL, 1986). Eine Hitzebehandlung zur Gewährleistung von Verdaulichkeit ist bei Lupinenprotein deshalb nicht erforderlich (SCHOENEGER, 1981).

Hinsichtlich der Veredelung zum Lebensmittel besonders wichtige *technologische Besonderheit* besteht beim Samen der weißen Süßlupine darin, daß sich die Bitterstoffe auch aus dem Ganzsamen leicht extrahieren lassen. Die Extraktion läßt sich durch ein Zerkleinern des Samens zu Bruch oder Mehl sehr stark beschleunigen, jedoch erhöht sich hierdurch auch der in Lösung gehende Proteinanteil. Bei den Bitterstoffen des Lupinensamens handelt es sich um Alkaloide, also um basisch reagierende Stoffe, die in saurem Milieu leicht lösliche Salze bilden. Zumal in Nähe des isoelektrischen Punktes der betreffenden Proteinfraktionen bietet das Entbittern in verdünnter Säure den Vorteil einer Minimierung unerwünschter Proteinextraktion. Des weiteren werden außer Alkaloiden auch andere geschmacklich unerwünschte Stoffe entfernt (PFEIFFER et al., 1997). Beschleunigen läßt sich das Entbitterungsverfahren durch leichtes Rühren des Samens in der er-

wärmten Lösung einer schwach konzentrierten Genußsäure. Nach neueren Feststellungen am Institut läßt sich der Ausgangsalkaloidgehalt bei *L. albus* cv. 'Amiga' so problemlos von ca. 0,02% (berechnet als Lupanin) auf 0,0002% verringern.

Eine weitere Besonderheit des Lupinensamens ist, daß Lupineneiweiß sehr gut in Lösung und zur Fällung zu bringen ist. CERLETTI (1978) weist im Samen von *L. albus* acht Eiweißfraktionen mit Molgewichten von 26.500 bis 440.000 Dalton nach, DURANTI (1986) unter den Globulinen 44% vicilinartige, 33% leguminartige und 23% andere Proteine. Bei den vicilin- und leguminartigen Proteinen handelt es sich um Glykoproteine. KING et al. (1985) untersuchen die funktionellen Eigenschaften der Proteine von *L. albus* hinsichtlich Löslichkeit, Emulsionskapazität, Wasserbindungsvermögen und Gelbildung. Proteinisolat von Lupine weist diesen Untersuchungen zufolge eine höhere Löslichkeit auf als dasjenige von Sojabohne. Die Emulsionskapazität ist bei beiden Isolaten etwa gleich. Lupinenprotein-Isolat wird so als ein sehr gut geeigneter Ersatz für Sojaprotein-Isolat erachtet.

EIGENE UNTERSUCHUNG

Im folgenden soll aufgezeigt werden, wie sich Süßlupinensamen von *Lupinus albus* cv. 'Amiga' ohne größeren technischen und finanziellen Aufwand zu einer Reihe sehr interessanter eigenständiger Lebensmittel und Lebensmittelzutaten verarbeiten läßt.

Wie muß Süßlupinensamen für eine weitergehende Veredelung konditioniert werden?

Die sensorischen Eigenschaften von Süßlupinensamen lassen sich durch eine entsprechende Prägung der Kau-eigenschaft und insbesondere des Geschmacks außerordentlich vielfältig diversifizieren. Je nachdem, zu welchen Lebensmitteln die Samen verarbeitet werden sollen, kann dies in unterschiedlicher Weise erfolgen. Da der Alkaloidgehalt nach SCHOENEGER (1981) selbst bei Süßlupinensamen beachtlich sein kann, zielt die Konditionierung zuallererst darauf ab, daß auch aus dem Verzehr von Lupinensamen in größeren Mengen keine langzeittoxikologischen Risiken resultieren können. Bei den am Institut erprobten Konditionierungsverfahren sollte nicht nur eine weitestgehende Entfernung von Alkaloiden und unerwünschten Geschmacksstoffen, sondern möglichst in demselben Verfahrensgang eine für die Veredelung zum eigenständigen Ganzsamen-Produkt reizvolle Biß- und Kau-eigenschaft erzielt werden.

Das Schälen von Lupinensamen kann nach Dampfbehandlung oder nach bis zu 30 minütigem Quellen der Schale in Wasser erfolgen, das anschließende Entbittern in kaltem oder erwärmtem Wasser resp. verdünnter Genußsäure, das Weichen des geschälten und entbitterten, ggf. auch gebrochenen Samens für die meisten Veredelungszwecke vorzugsweise durch Kochen in Genußsäurelösung.

Die Entfernung von Alkaloiden sowie unerwünschten Geruchs- und Geschmacksstoffen aus dem geschälten Lupinensamen, dessen Weichen durch Kochen in Genußsäure-

re und das anschließende Entfernen der Säure ist mit einem Austritt von löslichem, jedoch sehr gut fällbarem Eiweiß verbunden. Der Einfluß von Essig-, Citronen- und Milchsäure hierauf und darüberhinaus auf Quellung, Aussehen, Geruch, Geschmack sowie Biß- und Kaeigenschaft sind aus nachstehender Tabelle 1 ersichtlich.

Tabelle 1: Einfluß des Konditionierens in Genußsäuren auf die sensorischen Eigenschaften und das In-Lösung-gehen von Protein bei weißem Süßlupinensamen der Sorte 'Amiga'

Säure	Einfluß eines 1h langen Kochens in 2%iger Genußsäure und eines anschließenden 24h langen Wässerns			
	Aussehen	Geruch und Geschmack	Biß und Kaeigenschaft	Relativer Proteinverlust (N x 6,25)
Essigsäure	Gelb, 2,5-fach gequollen	nach Essig	Fester als bei Citronen- und Milchsäure	14%
Citronensäure	Wie bei Essigsäure	nach Citronensäure, jedoch fruchtig	Weich glatt, "knackig"	23%
Milchsäure	Wie bei Essigsäure	Angenehm nach Milchsäure, leicht fruchtig	Weich, glatt, "knackig"	22%

Durch Kochen in 2%iger Genußsäure entbitterter und geweicher Lupinensamen ist nach hinlänglichem Wässern ohne weiteres verzehrbar, wird geschmacklich jedoch als nahezu inert empfunden. Hinsichtlich der weiteren Veredelung und der hierbei erfolgenden Geschmacksprägung ist dies sehr vorteilhaft. Die Veredelung kann grundsätzlich auf zwei Hauptzwecke zielen: Auf die Fertigung eines eigenständigen Lebensmittels, wie beispielsweise *schokolierter Lupine*, oder einer Lebensmittelzutat, wie beispielsweise für Krokant.

Welche Lebensmittel lassen sich aus Süßlupinensamen auch im Erzeugerbetrieb herstellen?

Konditionierte Lupinensamen weisen aufgrund ihres hohen Eiweißgehaltes, ihrer geschmacklichen Neutralität und ihrer mechanischen und strukturellen Beschaffenheit eine zumal auch unter sehr einfachen technischen Rahmenbedingungen außerordentlich hohe Verwendungsbreite auf. Im folgenden sollen einige Hinweise für innovative Produkte aus bzw. mit Lupine gegeben werden.

Als *Lebensmittelzutat* kann der komplette oder in seinen Hälften vorliegende, der gebrochene oder zu Mehl vermahlene Lupinensamen bei süßen Speisen, wie Desserts, Pralinen, Riegel, Konditorei- und Feinkosterzeugnissen verwendet werden, ebenso aber auch bei Brot, Backwaren, Milch- und Fleischerzeugnissen sowie bestimmten Convenience-Produkten, bei denen der Zusatz der sensorischen Diversifikation oder der Eiweiß-

anreicherung dienen kann. Beim Konditionieren von Lupinensamen ausgetretenes Eiweiß eignet sich zumal bei Hinzunahme eines auch der geschmacklichen Abrundung dienenden, chemisch hinreichend stabilen Öles oder Fettes hervorragend für süße und pikante Brotaufstriche.

Eigenständige Lebensmittel aus Lupinensamen sind Speisen wie Polenta, Feinkosterzeugnisse oder Snacks. Feinkosterzeugnisse der pikanten Art, wie marinierte Lupine, können optisch, geruchlich und geschmacklich außerordentlich reizvoll verfeinert werden, indem den Zubereitungen in nicht zu großen Mengen passend geschnittene schwarze Oliven, roter und grüner Paprika sowie etwas hellgrünes Blattgewürz beigegeben werden. Durch Kandieren und/oder Schokolieren lassen sich Snacks herstellen, die zum Genußwert den ernährungsbiologischen Vorteil eines hohen Eiweißgehaltes aufweisen; durch Imprägnieren mit Kochsalz und Gewürz resultieren Snacks vom Typ der gesalzenen Erdnuß; durch Verarbeiten zu Massen und anschließendem Extrudieren geblähte Strangpreßerzeugnisse, die z.B. für Müslis und andere Frühstückserzeugnisse lediglich nachgetrocknet, für Knabbererzeugnisse vom Typ der Kracker, Chips und Flips fritriert und als Süßware dragiert werden.

Eine Übersicht über die Möglichkeiten der Verarbeitung von Süßlupinensamen zu Lebensmitteln verschiedener Kategorien ergibt sich aus dem Schema der jeweiligen Prozeßabläufe der nachfolgenden Abbildung.

DISKUSSION

Süßlupinensamen könnten in Deutschland auch heute sehr sinnvoll zur Nahrungsvorsorgung beitragen. Zum einen aufgrund des außerordentlich hohen Eiweißgehaltes, zum anderen jedoch auch aus den ökologischen Zielsetzungen einer zu Nachhaltigkeit verpflichteten Landwirtschaft (FELDHEIM, 1975; PFEIFFER et al., 1994). Daß dies bisher nicht schon auf breiterer Basis geschieht, ist sicherlich nicht so sehr darauf zurückzuführen, daß bei uns Lebensmittel aus allen Teilen der Welt in außerordentlicher Vielfalt und Qualität offeriert werden, sondern v.a. darauf, daß sich der Anbau von Lupine gegen den für Westdeutschland sehr preiswerten Import von Sojaprodukten nicht hatte durchsetzen können. Neuerdings hat der Anbau von Lupine v.a. auch wegen der Dringlichkeit der nachhaltigen Nutzung von Ackerfläche und Ressourcen sehr stark an Interesse gewonnen. Seit bitterstoffarme und für die Verarbeitung zu Lebensmitteln sehr gut geeignete Süßlupinensorten verfügbar sind, wird auch vermehrt über low tech - Möglichkeiten der Veredelung nachgedacht.

Für die Akzeptanz und den Markterfolg von Lebensmitteln aus Lupine wäre sicherlich von Vorteil, wenn Lupinensamen gewissermaßen nicht so sehr als Soja-Ersatz zu Verwendung gelangte, sondern zu eigenständigen Lebensmitteln wie z.B. salzigen oder süßen Brotaufstrichen, oder zur Herstellung marinierter Feinkost verarbeitet würde.

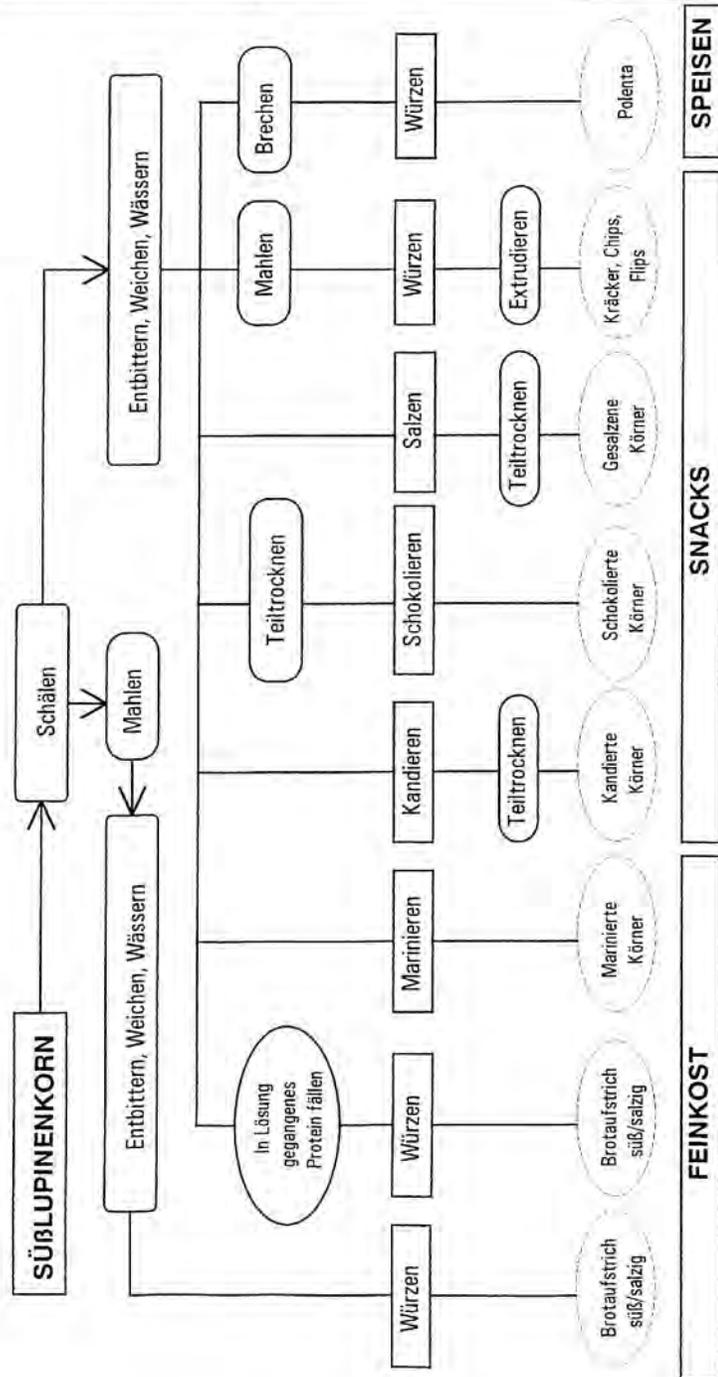


Abbildung: Potentielle Lebensmittel aus Lupine und die Prozessschritte ihrer Herstellung

Die in den vergangenen 10 Jahren durchgeführten Studien zur Nutzung von Lupine als Lebensmittel konzentrieren sich vor allem auf die Gewinnung von Eiweißprodukten wie z.B. Lupinenquark oder Lupinenprotein-Isolat (SCHALLENBERG, 1991; LUCK et al., 1995). Daß im Schrifttum über die Veredelung von Lupinensamen oder -mehl zu anderen und insbesondere eigenständigen Lebensmitteln kaum berichtet wird, dürfte darauf zurückzuführen sein, daß bislang die Nutzung von Sojabohne zum Modell stand. Für bestimmte Anwendungsbereiche ist dies sicherlich auch sinnvoll. Beispielsweise prüfen LUCK et al. (1995), inwieweit sich in der Brühwurstproduktion Sojaprotein-Isolat durch Lupinenprotein-Isolat ersetzen läßt. Um den Markterfolg von Lebensmitteln aus oder mit Lupine und so auch deren Anbau zu erhöhen, ist es aber notwendig, v.a. auch low tech-Veredelung zur Marktreife zu bringen.

Low tech - Veredelung von Lupinensaat hatte bisher keine nennenswerten Chancen. Die diesem Bericht zugrundeliegenden Untersuchungen zielen darauf ab, das Lupinensamen auf eine möglichst einfache und so auch den Erzeugerbetrieben realisierbare Weise als Lebensmittel zu nutzen. Die für die Konditionierung des Samens empfohlene Verfahrensweise bietet den Vorteil, daß die Entfernung der unerwünschten Inhaltsstoffe und die erwünschte Mürbung des Lupinensamens in einem einzigen Verfahrensschritt erfolgen. So sei hinsichtlich der sensorischen Besonderheiten hervorgehoben, daß mit dem leicht bitteren und leicht adstringierenden Flavour des Süßlupinensamens v.a. auch dessen an rohe Schnittbohnen erinnernder Geschmack beseitigt wird, so daß das konditionierte Produkt geschmacklich als nahezu inert empfunden und so sehr vielfältig nutzbar wird. Das beim Entbittern und Mürcen in Lösung gegangene Protein läßt sich technisch einfach zurückgewinnen und beispielsweise zu ernährungsbiologisch ausgewogenen und sehr schmackhaften Brotaufstrichen verarbeiten. Konditionierte Lupinensamen können zu einer Vielzahl von Produkten weiterverarbeitet werden.

Aus ernährungsbiologischer Sicht hat das Lupinenprotein wie viele andere Pflanzenproteine eine nur relativ geringe biologische Wertigkeit (BW), die mit 38,6 jedoch noch etwas über derjenigen von Weizen- und Erbsenprotein liegt. Die die BW von Lupinenprotein limitierende Aminosäure ist Methionin. Die Imbalanz des Lupinenproteins sollte jedoch keinesfalls überbewertet werden, da für die Kompensation proteinreiche Lebensmittel in großer Anzahl und preiswert verfügbar sind.

LITERATUR

- BELITZ, H.-D.; GROSCH, W. (1992): Lehrbuch der Lebensmittelchemie. Springer-Verlag, Berlin.
- CERLETTI, P.; FUMAGALLI A.; VENTURIN, D. (1978): Protein composition of seeds of *Lupinus albus*. Journal of Food Science 43, 1409-1414.
- DURANTI, M.; CERLETTI, P. (1979): Amino acid composition of seed proteins of *Lupinus albus*. J. Agric. Food Chem. 27, 977-978.

- DURANTI, M. (1986): The structure of lupin seed proteins. *Die Nahrung* 30, 221-227.
- FELDHEIM, W. (1975): Lupinensamen für die menschliche Ernährung. *Ernährungs-Umschau* 75, 280-281.
- GABRIAL, G.N.; MOCROS, S.R. (1976): The use of *Lupinus albus* L. cultivated in Egypt, as a food protein supplement. *Zeitschrift für Ernährungswissenschaften* 15, 333-339.
- HILL, G. (1986): Recent developments in the use of lupins in animal and human nutrition. In: *Proceedings Intern. Lupin Conference Geraldton/Australia*, 40.
- HUDSON, B.J.F.; FLEEDWOOD, J.G.; ZAND-MOGHADDAM, A. (1976): Lupin - An arable food crop for temperate climates. *Plant Foods for Man* 2, 81-90.
- HOFELE, K. (1992): Zum Einfluß von gemahlener und gebrochener Lupinensaat auf die sensorische und technologische Beschaffenheit von Brot. Diplomarbeit, Technische Universität München - Weihenstephan, Lehrgebiet Bromatologie - Hygiene und Technologie der Nahrung.
- KING, J.; AGUIRRE, C.; de PABLO, S. (1985): Functional properties of Lupin Protein Isolates (*Lupinus albus* cv. 'Multolupa'). *Journal of Food Science* 50, 82-87.
- LUCK, T.; WÄSCHE, A.; BORCHERDING, A.; JAHN, G.; MÜLLER, W.-D. (1995): Eiweißpräparate aus Süßlupine. *Fleischwirtschaft* 75, 1308-1310.
- MAUDERER, B. (1992): Möglichkeiten der Veredelung von Süßlupinensaat zu Snacks und marinierter Feinkost. Diplomarbeit, Technische Universität München - Weihenstephan, Lehrgebiet Bromatologie - Hygiene und Technologie der Nahrung.
- PFEIFFER, G.; GUTMANN, M. (1994): Brot und Gebäck mal ganz anders. Backversuche mit Süßlupine. *Rationelle Hauswirtschaft* 31, 25-27.
- PFEIFFER, G.; GUTMANN, M.; MÜLLER, B. (1997): Lebensmittel aus Lupinen - Möglichkeiten der industriellen Verarbeitung. *Lebensmitteltechnik* 29, 44-46.
- ROTH-MAIER, D.A.; KIRCHGESSNER, M. (1993): Nährstoffzusammensetzung und Futterwerte verschiedener weißer und gelber Lupinen (*Lupinus albus* L. und *Lupinus luteus* L.) für Schwein und Geflügel. *Agribiol. Res* 46, Heft 3, 218-228.
- SCHALLENBERG, J. (1991): Eiweißprodukte aus Lupinen. *Lebensmitteltechnik* 23, 690-692.
- SCHOENEBERGER, H. (1981): Ernährungsphysiologische Untersuchungen zur Beurteilung von Lupinen (*Lupinus mutabilis*) als proteinreiches Nahrungsmittel. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen.
- SCHOENEBERGER, H.; SAM, O.; GROSS, R.; CREMER, H.-D.; ELMADFA, I. (1981): Die Proteinqualität von *Lupinus albus* und *Lupinus mutabilis*. *Nahrung* 25, 667-674.
- SOUICI, S.W.; FACHMANN, W.; KRAUT, H. (1986): Die Zusammensetzung der Lebensmittel. Nährwerttabellen 1986/87. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart.