Aus dem Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften
(Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. Reinhold Jahn)

der Naturwissenschaftlichen Fakultät III
(Dekan: Prof. Dr. Peter Wycisk)

der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

„Ernährungsphysiologische und biofunktionelle Wirkungen von Inhaltsstoffen einheimischer Körnerleguminosen (Erbse, Ackerbohne, Lupine)“

Bachelorarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Science Ernährungswissenschaften

eingereicht von: Katja Schulz
geb. am 25.10.1986 in Löbau

Prüfer:

Prof. Dr. Gabriele Stangl
Dr. rer. nat. Corinna Brandsch

Eingangsstempel des Prüfungsamtes:

Datum der Abgabe:

Unterschrift:

Halle/Saale 2011

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis.....I

Abkürzungsverzeichnis.....II

1 Einleitung.....1

2 Charakterisierung der einheimischen Körnerleguminosen.....2

2.1 Ackerbohne – Vicia faba L.....2
2.2 Erbse – Pisum sativum L.....3
2.3 Lupine – Lupinus spp.....4

3 Inhaltsstoffe.....5

3.1 Hauptnährstoffe.....5
3.1.1 Eiweiß.....6
3.1.2 Kohlenhydrate.....7
3.1.3 Fette.....8
3.2 Ballaststoffe.....8
3.3 Sekundäre Pflanzenstoffe.....9
3.3.1 Alkaloide.....9
3.3.2 Cyanogene Glykoside.....10
3.3.3 Favismus-Substanzen.....11
3.3.4 Lektine.....11
3.3.5 Phytinsäure.....12
3.3.6 Phytosterine.....13
3.3.7 Polyphenole.....13
3.3.7.1 Phytoöstrogene.....13
3.3.7.2 Tannine.....14
3.3.8 Protease-Inhibitoren.....15
3.3.9 Saponine.....15

4 Wirkungen der Inhaltsstoffe (ernährungsphysiologisch & biofunktionell).....16

4.1 Allergene Wirkungen.....17
4.2 Antiinflammatorische Wirkungen.....17
4.3 Antikanzerogene Wirkungen.....18
4.4 Antimikrobielle Wirkungen.....19
4.5 Antioxidative Wirkungen.....20
4.6 Immunmodulatorische Wirkungen.....20
4.7 Blutzuckerbeeinflussende Wirkungen.....21
4.8 Insulinbeeinflussende Wirkungen.....23
4.9 Wirkungen auf den Lipidstoffwechsel.....23
4.10 Wirkungen auf das Herz-Kreislauf-System.....25
4.10.1 Atherogenese.....25
4.10.2 Blutdruck.....27
4.10.3 Thrombose.....27
4.11 Wirkungen auf die Bioverfügbarkeit.....27
4.12 Wirkungen auf Sättigung und Energieaufnahme.....28
4.13 Wirkungen auf das Verdauungssystem.....29

4.14 Wirkungen auf die Darmflora....31
4.15 Toxische Wirkungen....32
5 Wirkmechanismen....33
5.1 Antiadhäsive Wirkmechanismen....33
5.2 Antifungale Wirkmechanismen....33
5.3 Antikanzerogene Wirkmechanismen....33
5.4 Antioxidative Wirkmechanismen....34
5.5 Blutzucker- und insulinbeeinflussende Wirkmechanismen....34
5.6 Lipidsenkende Wirkmechanismen....35
5.7 Bioverfügbarkeitsbeeinflussende Wirkmechanismen....35
5.8 Sättigende Wirkmechanismen....35
5.9 Darmgesundheitsfördernde Wirkmechanismen....36
5.10 Toxische Wirkmechanismen....36
6 Potenzial unerwünschter Wirkungen....37
6.1 Allergenes Potenzial....37
6.2 Favismus....38
6.3 Toxizität....38
7 Schlussfolgerungen....39
8 Literaturverzeichnis....43
Anhang....48

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gehalte von Fett, Eiweiß und Kohlenhydraten der einheimischen Hülsenfrüchte und von Soja.....6

Tabelle 2: 7S- und 11S-Globuline von Ackerbohne und Erbse.....6

Tabelle 3: Alkaloide der einheimischen Hülsenfrüchte.....10

Tabelle 4: Menge an gebundener Blausäure in Lebensmitteln, die cyanogene Glykoside enthalten.....10

Tabelle 5: Phytatgehalte der einheimischen Hülsenfrüchte und Soja.....12

Tabelle 6: Bekannte Phytoöstrogene.....14

Tabelle 7: (Mögliche) Antikanzerogene und kanzerogene Stoffe der einheimischen Hülsenfrüchte.....19

Tabelle 8: (Mögliche) Blutzucker- und insulinreaktionsbeeinflussende Inhaltsstoffe der einheimischen Hülsenfrüchte.....22

Tabelle 9: Günstige und ungünstige Wirkungen der einheimischen Hülsenfrüchte.....39

Abkürzungsverzeichnis

Ala	- Alanin
aP2	- Fettsäure-bindendes Protein
Arg	- Arginin
Ca	- Calcium
CaCl2	- Calciumchlorid
CH4	- Methan
CO2	- Kohlenstoffdioxid
cv.	- Cultivar (Sorte)
IC50	- Probenkonzentration, die nötig ist um 50% der Radikale zu fangen
EPA	- Eicosapentaenoic acid (Eicosapentaensäure)
ERβ	- Estrogen receptor β (Östrogen-Rezeptor β)
Fe	- Eisen
FS	- Fettsäure
G6PD	- Glucose-6-Phosphat-Dehydrogenase
GHS-R.	- Growth hormone secretagogue-Rezeptor
GLUT4-T.	- Glucose-Transporter Typ 4
Gly	- Glycin
H2	- Wasserstoff
HCN	- Blausäure
HDL	- High Density Lipoprotein
HMG	- CoA-3-Hydroxy-3-methylglutaryl Coenzym A
IgA+	- Immunglobulin A
IgE	- Immunglobulin E
IgM-PFC	- Immunglobulin M Plaque-Forming Cell number
IFN-γ+	- γ-Interferon
IL-4+	- Interleukin 4
IL-10+	- Interleukin 10
Ile	- Isoleucin
IP6	- Myo-Inositol-(1,2,3,4,5,6)-hexakisphosphat
i. Tr.	- In der Trockenmasse
K	- Kalium
KG	- Körpergewicht
LDL	- Low Density Lipoprotein
L-Dopa	- L-3,4-Dehydroxyphenylalanin
Leu	- Leucin
LPS	- Lipopolysaccharid
Met	- Methionin
Mg	- Magnesium
MgCl2	- Magnesiumchlorid
Mn	- Mangan
MUFA	- Mono-unsaturated fatty acids (einfach ungesättigte Fettsäuren)
N	- Stickstoff
NaCl	- Natriumchlorid
NADPH	- reduzierte Form von Nicotinsäureamid-Adenin-Dinukleotid-Phosphat (NADP)
NF-κB	- Nuklearfaktor-kappaB
NO	- Stickstoffmonoxid
NSP	- Nicht-Stärke-Polysaccharide
Phe	- Phenylalanin
PPARγ2	- Peroxisome Proliferator aktivierter Rezeptor γ2
PUFA	- Poly-unsaturated fatty acids (mehrfach ungesättigte Fettsäuren)

RFO	- Raffinose-Familie der Oligosaccharide
S	- Sedimentationskoeffizient
SFA	- Saturated fatty acids (gesättigte Fettsäuren)
Spp.	- Subspecies, mehrere nicht näher bestimmte Arten einer Gattung
SR-B1	- Scavenger Rezeptor B1
TNFα	- Tumor-Nekrose-Faktor α
TVP	- Textured Vegetable Protein
Tyr	- Tyrosin
Val	- Valin
Zn	- Zink

1 Einleitung

Die Nationale Verzehrsstudie II (2008) und das Statistische Jahrbuch zu Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland (2010) belegen, dass die Bedeutung der Hülsenfrüchte in Deutschland zunehmend in den Hintergrund gerückt ist. Der Pro-Kopf-Verbrauch war in den letzten Jahren rückläufig, obwohl bei den Anbauflächen leichte Steigerungen zu verzeichnen sind. Nach aktuellen Angaben werden pro Kopf nur 0,5 kg Hülsenfrüchte im Jahr verzehrt. Genauere Angaben zum Verzehr einheimischer Hülsenfrüchte oder Soja lassen sich nicht ableiten. Das liegt auch daran, dass Hülsenfrüchte meist als Randgruppe von Gemüse betrachtet werden und dementsprechend nicht einzeln aufgeführt werden (BMELV 2010). In diesem Zusammenhang gilt die aktuelle Verzehrsempfehlung der DGE von 400 g (entspricht drei Portionen) Gemüse pro Tag für Gemüse, Pilze und Hülsenfrüchte zusammen. Im Durchschnitt werden von den Deutschen aber nur ca. 120 g/Tag verzehrt (Max Rubner-Institut Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel 2008).

Die meisten Menschen verbinden mit dem Wort „Hülsenfrüchte“ zuerst Blähungen und Flatulenzen. Wahrscheinlich haben sie daher ihr negatives Image. Allerdings erstreckt sich ihr Potenzial viel weiter. Das wussten schon Hippokrates und andere Gelehrte des Altertums (Hanelt 2006; Keller 1999). Allgemein bekannt ist, dass sie tierisches Eiweiß ersetzen können, mineralstoffreich sind und einen niedrigen glykämischen Index besitzen. Außerdem zeigen sie eine Vielzahl von positiven, aber auch negativen Wirkungen, die sie für die menschliche Ernährung und die Behandlung von Krankheiten interessant machen. Am besten untersucht ist bislang die Sojabohne. Eine Suche bei PubMed zu „Soya“ mit der Restriktion „Human“ ergibt ca. 5100 Treffer. Bei der Eingabe nach „"fava bean" OR "faba bean" OR pea OR lupin“ erhält man dagegen nur 2062 Treffer.

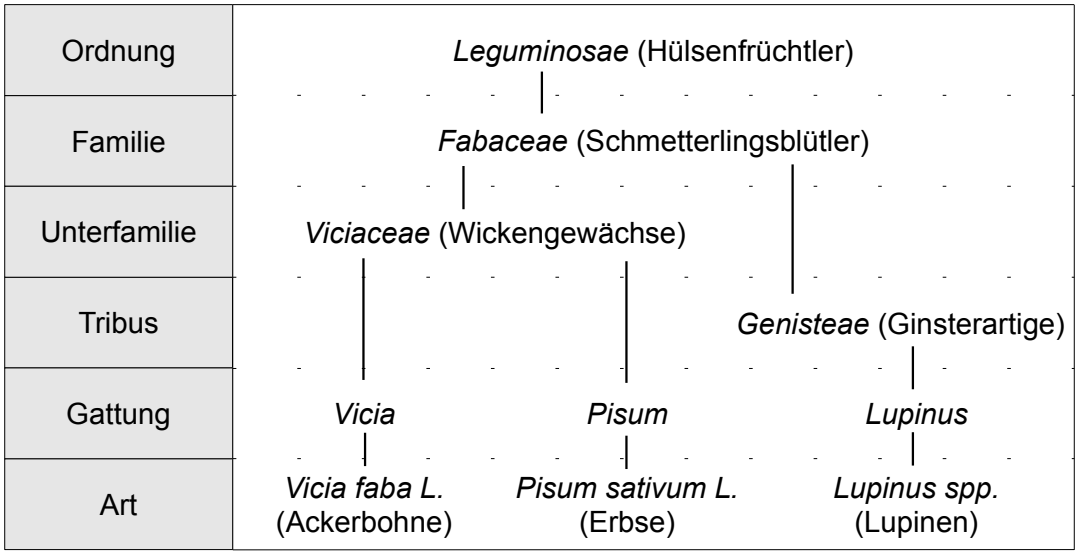
Ziel dieser Arbeit ist es, die Wirkungen von Inhaltsstoffen unserer einheimischen Körnerleguminosen Ackerbohne (*Vicia faba L.*), Erbse (*Pisum sativum L.*) und Lupine (*Lupinus spp.*) auf den menschlichen Körper näher zu betrachten. Dabei sollen sowohl ernährungsphysiologische als auch biofunktionelle Aspekte berücksichtigt werden, um einen Ausblick zum zukünftigen Einsatz dieser Hülsenfrüchte in der menschlichen Ernährung geben zu können. Dazu werden die einzelnen Hülsenfrüchte und deren charakteristische Inhaltsstoffe näher betrachtet. Außerdem wird der aktuelle Stand der Forschung in diesem Bereich überblickt.

2 Charakterisierung der einheimischen Körnerleguminosen

Als Körnerleguminosen bzw. Körnerhülsenfrüchte werden sowohl die zur Gewinnung trockener Samen kultivierten Pflanzen als auch die Samen selbst bezeichnet (Ternes et al. 2005). Sie gehören zu der großen Ordnung *Leguminosae*. Man spricht von Leguminosen, da ihr charakteristisches Merkmal ihre Früchte sind, die Hülsen (lat. „*legumen*“ = Hülse) (Hanelt 2006). Körnerleguminosen werden auch als Eiweißpflanzen bezeichnet, da sie aufgrund ihrer Symbiose mit Luftstickstoff-bindenden Knöllchenbakterien in der Lage sind, große Mengen an Proteinen zu bilden (Werner 1999). Man spricht dabei von *Biologischer Stickstofffixierung* (Krug 2002b).

Im ernährungswirtschaftlichen Bereich wird anstelle von Körnerleguminosen meist der Begriff „Hülsenfrüchte“ verwendet. Aus ihnen können zahlreiche Lebensmittel hergestellt werden. Die meisten stammen aus dem asiatischen Raum, da hier ihre Bedeutung sehr groß ist, z.B. Falafel, pflanzliche Ersatzmilchpräparate, Miso, Sojasoße, Tofu, Nährkombinationspräparate (Ternes et al. 2005).

Zu den in Deutschland einheimischen Körnerleguminosen gehören Ackerbohne, Erbse und Lupine. Neben der Verwendung als Gründüngungspflanze und zur Tierernährung werden sie auch in der menschlichen Ernährung wegen ihres biologisch wertvollen Eiweißes verwendet. Das folgende Kapitel soll einen kurzen Überblick über die einzelnen Arten, ihre Herkunft, ihre Inhaltsstoffzusammensetzung und ihre Bedeutung in der menschlichen Ernährung geben.



Zeichnung: Einordnung der einheimischen Körnerleguminosen

2.1 Ackerbohne – Vicia faba L.

Für die Ackerbohne (Einordnung siehe Kap. 2) gibt es viele Namen: Pferde-, Sau-, Puff-, Fava-, Faba- oder Dicke Bohne, wodurch es schwierig ist, geeignete, auf *Vicia faba L.*

bezogene Literatur zu finden.

Sie ist eine alte Kulturpflanze aus der Region des „Fruchtbaren Halbmondes“. Die Alten Ägypter sahen sie als „Speise der Armen“ und bezeichneten sie als unrein, wohl wegen ihrer flatulierenden Wirkung. Sie wurde bereits im Altertum angebaut und gelangte durch die Römer nach Mitteleuropa. Hier wird sie erstmals im 6. Jh. n. Chr. schriftlich erwähnt. Durch die Entdeckung Amerikas und die anschließende Einführung der Gartenbohne (*Phaseolus vulgaris L.*) in Europa, wurde die Ackerbohne aus ihrer bis dahin bedeutenden Position in der menschlichen Ernährung verdrängt (Keller 1999; Krug 2002a).

Vicia faba L. ist eine einjährige Pflanze. Sie wächst aufrecht. Ihre Blätter sind grob gefiedert und elliptisch. Sie bildet typische Schmetterlingsblüten, die dann als traubige weiß- oder buntblühende Blütenstände an fertilen Nodien zu finden sind. Aus diesen Blüten entstehen später große Hülsen, die bis zu acht Samen enthalten. Heute spricht man von „Bohnen“, wenn die Samen gemeint sind.

Die Ackerbohne wird überall in Deutschland angebaut. 2009 betrug die gesamtdeutsche Anbaufläche 12.000 ha. Hierbei sind v.a. Nordrhein-Westfalen und Bayern mit je ca. 2.000 ha hervorzuheben, gefolgt von Niedersachsen, Hessen und Thüringen (Bundessortenamt 2011). China baut weltweit die meisten Ackerbohnen an. Neben Asien spielt die Ackerbohne auch in Afrika (v.a. Äthiopien) eine große Rolle. In der restlichen Welt ist ihre Bedeutung dagegen eher gering (FAOSTAT, 08.10.2011).

Ackerbohnen enthalten neben Kohlenhydraten, Eiweiß, Ballaststoffen und sehr wenig Fett (vgl. 3.1) eine ganze Reihe sekundärer Pflanzenstoffe, die meist als wertmindernd bezeichnet werden. Dazu gehören Saponine (v.a. Sojasaponin I (Kinjo et al. 1998)), Lektine, Protease-Inhibitoren, Tannine, Phytinsäure, α-Glykoside und Favismus-Substanzen (Römer 1998). Auf diese Stoffe wird in Kap. 3.3 näher eingegangen.

Heute nutzt man sowohl die jungen, grünen Bohnen (ohne Hülsen), als auch die reifen Bohnen (ohne Hülsen und evtl. ohne Samenschalen). Man kann aus ihnen Konserven- und Tiefkühlgemüse, Mehl und Eiweißkonzentrate herstellen. Auch TVP-Erzeugnisse als Fleischersatz (*textured meat*) sind zu finden (Keller 1999). Nach wie vor werden neben den gekochten Bohnensamen auch rohe Samen verzehrt, die jedoch ein Risiko für Favismus darstellen (siehe 6.2).

2.2 Erbse – Pisum sativum L.

Die *Pisum sativum L.* (Einordnung siehe Kap. 2) ist eine der ältesten Kulturpflanzen. Es gibt Funde, die in die Zeit des frühen Neolithikums (7000 v. Chr.) eingeordnet werden. Ihre Heimat liegt vermutlich im vorder- und mittelasiatischen Raum, dem „Fruchtbaren Halbmond“. Von dort aus gelangte sie über Nordafrika, Griechenland und Italien nach Mitteleuropa und Skandinavien (800 v. Chr.). In Mitteleuropa wird sie zusammen mit

Ackerbohnen ab dem 6. Jh. nach Chr. erwähnt (Krug 2002a; Stelling und Naumann 1999).
Die Blätter der Erbse sind wechselständig, paarig und meist ganzrandig. Sie bildet Ranken zum Klettern und Festhalten. An den fertilen Nodien der Sprossachse finden sich jeweils ein bis zwei Schmetterlingsblüten, je nach Sorte weiß- oder buntblühend. Die später gebildeten Hülsen enthalten zwischen drei und zwölf Erbsensamen. Sie platzen bei vollständiger Reife, im Gegensatz zu Lupinenhülsen, von selbst auf.
In Mitteleuropa wird ausschließlich *Pisum sativum L. ssp.* sativum angebaut (Stelling und Naumann 1999). Dabei wird sie nach ihren Nutzungseigenschaften für die menschliche Ernährung in Körner- und Trockenspeiseerbsen, Markerbsen, Palerbsen und Zuckerschoten (Zuckererbsen) unterteilt. Im Sinne der Hülsenfrüchte werden nur die Körner- und Trockenspeiseerbsen als reife, trockene Samen genutzt. Für die Erbsenproduktion wurden 2009 in Deutschland 48.000 ha genutzt. Davon lagen allein 11.300 ha in Bayern. Weitere große Anbauflächen finden sich in Mitteldeutschland (zw. 5.500 und 7.500 ha) und Brandenburg (6.100 ha) (BMELV 2010; Bundessortenamt 2011). Im weltweiten Vergleich belegt Deutschland jedoch nur einen der hinteren Plätze. Hier liegt Kanada mit einer Anbaufläche von 1.487.200 ha vorn, gefolgt von China und Russland (FAOSTAT, 08.10.2011).
Erbsen enthalten neben Protein, Kohlenhydraten und etwas Fett auch die für Hülsenfrüchte charakteristischen sekundären Pflanzenstoffe Oligosaccharide, Tannine, Lektine, Phytat, Protease-Inhibitoren und Saponine. Als vorherrschendes Triterpen-Saponin ist Sojasaponin I bestimmt worden (ca. 21 mg / 100 g Samen) (Kinjo et al. 1998).
Die Erbse gehört zu den ältesten Nahrungsmitteln des Menschen. Der Mensch isst nur die reifen trockenen (Trockenspeiseerbsen) oder unreifen grünen (Gemüseerbsen) Erbsensamen. Aus den reifen Samen können Erbswurst, Erbsenmehl, Suppen, Pürees und Breie hergestellt werden (Stelling und Naumann 1999).

2.3 Lupine – Lupinus spp.

Die Gattung *Lupinus* (Einordnung vgl. Kap. 2) umfasst über 200 Arten, von denen *L. albus* (Weiße Lupine), *L. angustifolius* (Schmalblättrige Lupine, oft nicht ganz korrekt Blaue Lupine genannt), *L. luteus* (Gelbe Lupine) und *L. mutabilis* (Buntlupine) am bekanntesten und für die menschliche Ernährung am bedeutendsten sind.
Man unterscheidet zwischen Altwelt- und Neuweltarten, da schon vor der Entdeckung Amerikas durch Kolumbus auf beiden Seiten des Atlantiks Lupinen zu finden waren. Zu den Altweltarten zählen *L. albus*, *L. luteus* und *L. angustifolius*. Ihre Heimat liegt im Mittelmeerraum. In Deutschland kennt man sie seit der Renaissance. Neuweltarten findet man in ganz Amerika (Hanelt 2006; Plarre 1999). Sie sind artenreicher als die Altweltarten. Hier kommt vor allem der in den Anden verbreiteten *L. mutabilis* eine große Bedeutung zu.
Lupinen sind ein- oder mehrjährig. Die meist krautigen Pflanzen besitzen handfingerig

gefiederte Blätter. Typisch für die Lupinenpflanzen sind ihre auffälligen, senkrecht aufragenden Blütentrauben. An ihrer Stelle findet man später die ledrigen, oft behaarten Hülsen mit den Samen (Hanelt 2006).

Möglicherweise sind die Samen schon vor der neolithischen Revolution von Menschen verzehrt worden (Gladstones 1998). Sichere Belege finden sich erst während der Zeit des Altertums, z. B. durch Hippokrates von Kos (400-356 v. Chr.). Er erwähnt die Lupine als Lebensmittel und hebt ihre abführende, nicht-blähende Wirkung gegenüber anderen Hülsenfrüchten hervor. Auch andere Gelehrte jener Zeit heben ihre medizinische Anwendung hervor. Um den schädlichen Alkaloidgehalt der Samen zu senken, wandte man damals schon Entbitterungsverfahren an (Hanelt 2006). Dazu wurden und werden die Samen gewässert. Seit dem Auffinden alkaloidarmer Formen, den sog. Süßlupinen, werden bevorzugt diese für die Ernährung genutzt. Aus ihnen werden heute Milchprodukte wie Quark und Joghurt oder Eis, Nährmittel und proteinreiche oder entölte Mehle hergestellt.

In Deutschland werden zurzeit jedoch nur *L. albus* und *L. angustifolius* angebaut (Bundessortenamt 2011). Die Gesamtanbaufläche 2009 in Deutschland betrug für Lupinen 19.400 ha. Sie werden hauptsächlich in Ost- und Norddeutschland angebaut. Spitzenreiter ist Brandenburg (10.100 ha) (Bundessortenamt 2011). Im weltweiten Vergleich liegt Australien mit einer Anbaufläche von 483.000 ha (2009) vorn, gefolgt von Weißrussland mit 39.306 ha und Polen mit 35.700 ha (FAOSTAT, 08.10.2011).

Lupinen haben einen hohen Rohproteingehalt. Das Eiweiß der Körner ist zu 90% für den Menschen verdaulich (Plarre 1999). Anders als bei Erbsen und Ackerbohnen gelten bei Lupinen neben Eiweiß auch Fett und Alkaloide als Hauptmerkmale für die Qualitätsbewertung. Sie werden daher auch als Ölpflanzen verwendet (Plarre 1999)(siehe Kapitel 3.1.3). Lupinen enthalten nahezu keine Stärke, dafür aber sehr viele Ballaststoffe (vgl. Kap. 3.1). Außerdem findet man beispielsweise Oligosaccharide, Phytat, Tannine, Trypsin-Inhibitoren, Saponine und Lektine. Ausführliche Angaben über die Lupinenalkaloide findet man bei Petterson (1998).

3 Inhaltsstoffe

Um den Wert der einheimischen Körnerleguminosen für Mensch und Tier beurteilen zu können, sind Kenntnisse über deren Inhaltsstoffzusammensetzung nötig. Durch ihre Komposition aus Hauptnährstoffen, Ballaststoffen und sekundären Pflanzenstoffen ergeben sich sehr unterschiedliche Wirkungen, die in Kapitel 4 näher betrachtet werden.

3.1 Hauptnährstoffe

Hülsenfrüchte zeichnet ein hoher Proteingehalt und meist hoher Kohlenhydratgehalt aus, siehe Tabelle 1. Diese Komposition macht sie für die menschliche Ernährung günstig. Zu

ihren Vorzügen zählen neben der Fähigkeit in hohem Maße zur Proteinversorgung beitragen zu können auch Mineralstoffe (Ca, Fe, K, Mg, Zn), ein geringer Natriumgehalt und ein meist niedriger glykämischer Index (Madar und Stark 2002).

Tabelle 1: Gehalte von Fett, Eiweiß und Kohlenhydraten der einheimischen Hülsenfrüchte und von Soja

Nährstoff	Ackerbohne	Erbse	Lupine	Sojabohne
Kohlenhydrate	59,8	65,5	36,7	32,5
davon Stärke	41,0	45,0	0,4	1,5
Eiweiß	29,0	25,3	38,0	38,4
Fett	2,0	2,7	7,4	19,7

Angaben sind Mittelwerte (% der Samen) (Hedley 2001)

3.1.1 Eiweiß

Die wertgebende Komponente aller Hülsenfrüchte ist das Eiweiß. Ihr hoher Proteingehalt (siehe Kap. 3.1) macht sie zu einem attraktiven und gegenüber tierischem Eiweiß kostengünstigeren Proteinlieferanten (Pownall et al. 2010), z.B. für Vegetarier und zur Gewinnung bioaktiver Peptide.

Es mangelt den Hülsenfruchtproteinen vor allem an schwefelhaltigen Aminosäuren (Methionin, Cystein) und Tryptophan. Jedoch kann diese Minderung der biologischen Wertigkeit durch die Kombination von Hülsenfrüchten mit Ei oder Getreide gut ausgeglichen werden. Ein Beispiel sind: „Gebackene Bohnen mit Ei“. Über die Aminosäurezusammensetzung von Erbsen und Lupinen informieren Petterson (1998) und Souci et al. (2000).

Durch Fraktionierung der Proteine nach T.B. Osborne erhält man Albumine, Globuline und Gluteline. Davon nehmen Globuline mengenmäßig den größten Anteil der Proteine ein. Sie sind Reservestoffe für den Keimling. In allen Hülsenfrüchten kommen die Hauptglobuline Vicilin (~7S) und Legumin (~11S) vor. Beide Globulingruppen zeigen starke Gelbildungseigenschaften, abhängig von Protein und Herstellungsbedingungen, und können für die Herstellung von Schäumen und Emulsionen genutzt werden (Belitz et al. 2008). Bei Lupinen spricht man von Conglutin α, β, γ und δ, wobei letzteres lupinenspezifisch ist (Foley et al. 2011).

Tabelle 2: 7S- und 11S-Globuline von Ackerbohne und Erbse

	Ackerbohne	Erbse
7S-Globuline	k.A.	▪ Vicilin
11S-Globuline	▪ Legumin B ▪ Legumin β_1	▪ Legumin J ▪ Legumin A

(Belitz et al. 2008)

Bei Hydrolyse der Proteine können Peptide freigesetzt werden, die wie die sekundären Pflanzenstoffe bioaktiv wirken können (siehe Kap. 3.3) (Ndiaye et al. 2011; Pownall et al. 2010). Auch die seltene Aminosäure L-Dopa reagiert bioaktiv. Sie ist in *Vicia faba L.* entdeckt worden (Fang et al. 2010; Ternes et al. 2005) und wird zur Behandlung von Morbus Parkinson genutzt (Pschyrembel 2004).

Man hat in Arten der Gattungen *Vicia* und *Lathyrus* auch toxisch wirkende Aminosäuren gefunden. Sie wirken als Osteotoxine (β-Aminopropionitril), Antimetabolite (Mimosin) und Neurotoxine (β-N-oxalyl-α,β-diaminopropionsäure). Durch Kochen und anschließendes Entfernen des Kochwassers wird deren Wirkung aber reduziert (Champ 2002). Ungünstig sind auch die allergenen Proteine der Hülsenfrüchte, vor allem von Lupine, Erdnuss und Sojabohne. Sie führen zu Lebensmittelallergien auf die genannten Hülsenfrüchte und bergen gleichzeitig ein hohes Kreuzallergierisiko zu anderen ähnlich strukturierten Proteinen (siehe Kap. 6.1). Details zur Entstehung von Lebensmittelallergien finden sich bei Belitz et al. (2008) und Biesalski et al. (2010).

3.1.2 Kohlenhydrate

Den größten Anteil an der Kohlenhydratfraktion bei den einheimischen Hülsenfrüchten, mit Ausnahme der Lupine, besitzt die Stärke (siehe Kap.3.1). Neben den löslichen und unlöslichen Stärken enthalten Körnerleguminosen auch eine große Menge resistente Stärken, die ähnliche Wirkungen wie die Ballaststoffe entfalten (siehe Kap. 3.2)(Rochfort und Panozzo 2007). Allgemein ist der glykämische Index von Hülsenfrüchten niedrig. Dies sorgt für einen langsamen Blutzuckeranstieg. Bei Ackerbohnen liegt er etwas höher (Madar und Stark 2002).

Eine andere Gruppe charakteristischer Kohlenhydrate umfasst die α-Galaktoside, auch RFO genannt. Zu ihnen werden Raffinose, Stachyose, Verbascose und Ajugose gezählt. Lupinen enthalten gegenüber Ackerbohnen und Erbsen einen höheren Anteil an Stachyose, ansonsten sind ihre Gehalte an RFO ähnlich (Hedley 2001). Es konnte belegt werden, dass die α-Galaktoside von Erbsen und Lupinen nicht giftig sind (Gulewicz et al. 2002). Sie sind für Flatulenz, Blähungen und Diarrhö verantwortlich, da sie im Dickdarm von Bakterien zu CO_2, CH_4 und H_2 metabolisiert werden (Belitz et al. 2008). Andererseits können sie die Komposition der Darmbakterien günstig beeinflussen und so Flatulenzen reduzieren (Gulewicz et al. 2002) und sie haben eventuell auch einen Nutzen für das Immunsystem des Darms. Die Gehalte unerwünschter Oligosaccharide können unter anderem durch Wässern und Kochen stark reduziert werden (Rochfort und Panozzo 2007). Detaillierte Informationen über die Kohlenhydrate der Hülsenfrüchte geben Hedley et al. (2001).

3.1.3 Fette

Die meisten Hülsenfrüchte sind fettarm (siehe Kap. 3.1). Ausnahmen sind Erdnuss, Lupine und Sojabohne. Diese werden aufgrund ihres relativ hohen Fettgehaltes auch zur Ölgewinnung verwendet. Den Hauptanteil der Fette bestimmen die Triglyceride. Daten über deren Fettsäurezusammensetzung bei Ackerbohnen und Lupinen finden sich bei Petterson (1998) und Belitz et al. (2008). Sie besitzen generell hohe Gehalte an Ölsäure (18:1) und Linolsäure (18:2). Einfach ungesättigte Fettsäuren wirken sich günstig auf die Fluidität von Zellmembranen aus, dadurch können negative Effekte von Cholesterin reduziert werden. Linolsäure ist eine essentielle Fettsäure und muss deshalb mit der Nahrung aufgenommen werden. Durch ihren hohen Gehalt ungesättigter Fettsäuren sind Ackerbohne, Lupine und Erbse günstig für die menschliche Ernährung.

Fette pflanzlichen Ursprungs enthalten kein Cholesterin, so auch die einheimischen Körnerleguminosen. Dies ist ein Vorteil der pflanzlichen Fette gegenüber den tierischen Fetten, denn so wird kein zusätzliches Cholesterin zugeführt. Die pflanzlichen Fette enthalten schwer resorbierbare Phytosterine (siehe Kap. 3.3.6), welche die Cholesterinaufnahme aus dem Darm hemmen können und so cholesterinsenkend wirken (Biesalski und Adolph 2010).

3.2 Ballaststoffe

Die strukturellen Polysaccharide der Zellwände haben neben der Stärke einen großen Anteil an der Kohlenhydratfraktion. Ihr Gehalt und ihre Komposition sind artabhängig. Lupinen besitzen durch ihren geringen Stärkeanteil einen wesentlich höheren Ballaststoffanteil als Erbsen und Ackerbohnen (je 26% und 12% des Samens) (Hedley 2001). Die enthaltene Menge ist außerdem in den Samenschalen höher als in den Kotyledonen.

Die Gruppe der Ballaststoffe umfassen bei den Körnerleguminosen unter anderem Cellulose, Lignin und Pektin, außerdem die Zellwandbestandteile Galactose, Arabinose, Fucose und Xylose. Teilweise werden auch resistente Stärken dazu gezählt, da sie wie die Ballaststoffe nicht resorbiert werden und so ihre Wirkungen im Darm entfalten (Rochfort und Panozzo 2007). Beide Kohlenhydratgruppen werden teils von Darmbakterien fermentiert, wodurch kurzkettige Fettsäuren, CH_4 und CO_2 entstehen. Diese können sowohl zu Flatulenz und Blähungen führen, beeinflussen aber auch die Darmgesundheit positiv. Ballaststoffe beeinflussen die Bioverfügbarkeit anderer Stoffe, z.B. von Mineralstoffen und Phytinsäure und sie können in begrenztem Maß Einfluss auf den Lipid- und Glukosestoffwechsel nehmen. Durch Aufquellen kann die Stuhlmenge erhöht und so die Transitzeit verringert werden (Petterson 1998). Lupinen enthalten hohe Pektingehalte. Diese wirken wahrscheinlich nicht blutzuckersenkend (Feldman et al. 1995).

3.3 Sekundäre Pflanzenstoffe

Bislang gibt es keine einheitliche Definition für die sehr große heterogene Gruppe der sekundären Pflanzenstoffe. Sie werden nur in Pflanzen gebildet und dienen diesen zum Schutz vor Schädlingen und Mikroben, als Wachstumsregulatoren, als Farbstoffe und oft auch als Lockstoffe. Art und Menge der einzelnen Stoffe variieren je nach Pflanzenart; die Mengen sind jedoch gegenüber den primären Inhaltsstoffen sehr gering (Watzl 1999). Sekundäre Pflanzenstoffe sind für den Menschen bisher nicht essentiell. Sie besitzen auch keinen nutritiven Wert (Ternes 2005). Neben den heute hervorgehobenen gesundheitsfördernden Wirkungen können einige dieser Stoffe auch nachteilige bis toxische Auswirkungen haben (Biesalski und Adolph 2010). Hier gilt: „Die Menge macht das Gift“ und auch die Interaktion verschiedener Stoffe miteinander ist von Bedeutung.

Sekundäre Pflanzenstoffe zählen, wie die Ballaststoffe, zu den bioaktiven Substanzen. Das sind Stoffe ohne Nährwert, aber mit gesundheitlichem Nutzen. Sie wirken schwächer als Arzneimittel, üben jedoch bei regelmäßiger Aufnahme eine protektive Wirkung gegenüber Krankheiten aus (Watzl 1999). Bisher sind positiv antikanzerogene, antimikrobielle, antioxidative, antithrombotische, immunmodulierende, entzündungshemmende, Blutdruck- und Blutglukose-beeinflussende, cholesterinsenkende und verdauungsfördernde Eigenschaften beschrieben worden (Watzl 1999). Zu den sekundären Pflanzenstoffen, die negative Auswirkungen auf die Gesundheit haben können, gehören z.B. cyanogene Glykoside und Phytinsäure (Ternes 2005).

Biesalski 2010 zeigt eine sehr ausführliche Einteilung der sekundären Pflanzenstoffe. Eine Orientierung an der Einteilung von Watzl (1999) war jedoch für die vorliegende Arbeit ausreichend. Sie wurde lediglich um die für Hülsenfrüchte besonderen sekundären Pflanzenstoffe verändert. Prinzipiell sind alle Gruppen von sekundären Pflanzenstoffen in Hülsenfrüchten vertreten. Ihre Menge hängt dabei auch von der Zusammensetzung der Inhaltsstoffe ab, z.B. tauchen Phytosterine vermehrt in fettreichen Pflanzenteilen auf (Watzl 1999). Charakteristisch für Hülsenfrüchte sind Phytoöstrogene, Saponine, Phytinsäure, Lektine, Protease-Inhibitoren, cyanogene Glykoside, Favismus-Substanzen, Tannine und Alkaloide (Watzl 1999; Belitz 2008; Biesalski und Adolph 2010). Die Favismus-Substanzen gibt es nur in der Ackerbohne. Die Lupine ist für hohe Alkaloidgehalte bekannt.

3.3.1 Alkaloide

Zu den Alkaloiden werden sehr unterschiedliche Stoffe gezählt. Ihnen liegt als chemische Struktur häufig ein Heterozyklus mit mindestens einem Stickstoffatom zugrunde (Champ 2002; Wagner 1999). Sie haben einen bitteren Geschmack und sind meist gut wasserlöslich.

Tabelle 3: Alkaloide der einheimischen Hülsenfrüchte

Ackerbohne	Erbse	Lupine
▪ Hydroxypyrimidin-Glykosid-Alkaloide [3]	▪ Trigonellin [3]	▪ Quinolizidinalkaloide (z.B. Lupanin, Spartein, 13-Hydroxylupanin, Lupinin, Angustifolin) [1 2 3]

[1] (Petterson 1998) [2] (Plarre 1999) [3] (Rochfort und Panozzo 2007)

Alkaloide können in vielen Pflanzenteilen vorkommen. Unter den Hülsenfrüchten ist hierbei die Lupine am bedeutendsten. Die Samen von *L. albus* Wildformen enthalten meist über 1% Alkaloide (Hanelt 2006), wohingegen die Süßlupinen nur maximal 0,04% (Plarre 1999) bis 0,06% (Ternes et al. 2005) enthalten. Sehr geringe Alkaloidmengen sind aber auch in anderen Hülsenfrüchten zu finden, z.B. in Ackerbohne, Erbse oder Jackbohne (Champ 2002; Rochfort und Panozzo 2007). Interessanterweise gibt es Alkaloide auch im Tierreich, z.B. bei Stinktier, Feuersalamander und Kugelfisch (Wagner 1999).

Die meisten Alkaloide wirken antinutritiv bzw. sogar toxisch. Dabei ist der Grad der Toxizität vom Alkaloid und seiner zugeführten Menge abhängig, z.B. sind Lupanin und Spartein zehnmal giftiger als 13-Hydroxylupanin (Plarre 1999). Bei der Lupine werden deshalb neben physikalischen Verfahren zur Entbitterung (Wässern) auch vermehrt Süßlupinen verwendet um die hohen Alkaloidgehalte zu reduzieren. Rochfort et al. (2007) beschreiben aber auch günstige Wirkungen von Alkaloiden. So können scheinbar Hydroxypyrimidin-Glykosid-Alkaloide der Ackerbohne gegen Malaria helfen und Quinolizidinalkaloide der Lupine eventuell die Insulinsekretion erhöhen.

3.3.2 Cyanogene Glykoside

Cyanogene Glykoside sind Zuckerverbindungen, bei deren Zerfall Cyanwasserstoff (Blausäure) freigesetzt wird. Der Abbau wird durch substratspezifische β-Glukosidasen eingeleitet, aber erst bei der Zerstörung von Zellwandstrukturen (Belitz et al. 2008). Sie kommen in den Samen verschiedener Pflanzen vor, z.B. in bitteren Mandeln. Von den Hülsenfrüchten hat die Limabohne den höchsten Gehalt. Erbsen und Bohnen enthalten nur einen Bruchteil davon (Belitz et al. 2008; Champ 2002). Für Lupinen sind keine Angaben bekannt.

Tabelle 4: Menge an gebundener Blausäure in Lebensmitteln, die cyanogene Glykoside enthalten

Erbse	Bohne	Kichererbse	Limabohne	Bittere Mandeln
2,3	2,0	0,8	210 - 310	280 - 310

HCN in mg/100g (Belitz et al. 2008)

Durch die Bildung von Blausäure wirken die Glykoside toxisch. Es kommt zu

Bittermandelgeruch des Atems, Erbrechen, Atemnot und möglicherweise zum Ersticken. Schon 1 mg/kg KG an Blausäure ist tödlich (Pschyrembel 2004). Um die Samen zu entgiften, werden sie zerkleinert und angefeuchtet. Die, beim Zerfall der Glykoside, entstehende Blausäure wird durch Erhitzen entfernt (Belitz et al. 2008).

3.3.3 Favismus-Substanzen

Unter dem Begriff Favismus-Substanzen werden die Glykoside Vicin und Convicin der Ackerbohne zusammengefasst. Sie bestehen jeweils aus β-Glukose und einer Pyrimidin-Nuleosid-Struktur (Divicin und Isouramil).

Vicia faba L. enthält zwischen 1480 und 2680 µg/g Favismus-Substanzen. In anderen Hülsenfrüchten sind teilweise nur sehr geringe Mengen dieser Glykoside gefunden worden (Champ 2002). Sie lösen bei Personen mit angeborenem G6PD-Mangel Favismus aus. Dieser Mangel ist in Mitteleuropa sehr selten (Kasper 2004). Die dabei entstehende hämolytische Anämie ist unter Umständen tödlich (Pschyrembel 2004). Die auslösenden Stoffe können auch mit der Muttermilch weitergegeben werden (Ternes et al. 2005).

Der Verzehr unreifer und ungekochter Bohnen birgt ein größeres Risiko als der Verzehr gekochter Bohnen, da erst nach längerem Erhitzen das thermisch relativ stabile Vicin abgebaut wird. Auch durch Einweichen und Schälen kann eventuell eine Verminderung von Vicin und Convicin in den Ackerbohnen erreicht werden (Ternes et al. 2005).

3.3.4 Lektine

Ihr Name stammt von „*legere*“ (lat. für „auswählen“). Andere Bezeichnungen für Lektine sind Hämagglutinine und Phytohämagglutinine. Sie sind zuckerbindende Proteine, welche bevorzugt an menschliche und teilweise tierische Erythrozyten binden und diese dadurch agglutinieren (verklumpen). Lektine binden auch an Zucker auf anderen Zellmembranen, dabei reagieren sie sowohl zucker- als auch toxizitätsspezifisch (Champ 2002; Römer 1998).

Man findet Lektine vor allem in Samen von Getreide und Hülsenfrüchten. Sie sind jedoch nicht nur in Pflanzen enthalten (Carle 2010). Ihre Gehalte schwanken stark zwischen den einzelnen Hülsenfruchtarten und -sorten. Beispielsweise hat man in weißblühenden Erbsen weniger Lektine gefunden als in buntblühenden (Champ 2002; Stelling und Naumann 1999). Das könnte auf eine Abhängigkeit hindeuten und als Hilfe bei der Qualitätsbewertung von Erbsensamen genutzt werden. Aus Ackerbohnen ist Favin bekannt (Römer 1998; Fang et al. 2010). Es ist auch festgestellt worden, dass die Gehalte von Lektinen in Ackerbohnen und Erbsen im Vergleich zu Soja sehr niedrig sind (Römer 1998; Madar und Stark 2002).

Lektine können die Nährstoffabsorption stark beeinträchtigen. Aber nicht alle in Hülsenfrüchten vorkommenden Lektine wirken toxisch, z.B. Soja. Symptome einer Lektinvergiftung äußern sich bei Tieren durch Wachstumsstörungen; bei Menschen mit Diarrhö, Blähungen,

Erbrechen und Übelkeit. Mittlerweile existieren aber auch immer mehr Hinweise auf günstige Wirkungen: Beeinflussung des Blutzuckerspiegels, Reduzierung von Fettleibigkeit und Einschränkung von Tumorwachstum. Diese sind bisher jedoch nur wenig erforscht (Champ 2002; Madar und Stark 2002).

Aufgrund ihrer Wasserlöslichkeit (Römer 1998) können Lektingehalte durch Wässern gesenkt werden. Hitzebehandlung (z.B. beim Kochen) denaturiert die Lektine zusätzlich und senkt so deren ungünstige Wirkungen. Zu geringe Hitzeeinwirkung oder zu langsames Kochen führt zu unvollständiger Toxizitätsfreiheit, da hier Restmengen noch aktiver Lektine enthalten sein können (Champ 2002).

3.3.5 Phytinsäure

Phytinsäure (Phytat; IP6) ist eine mit sechs Phosphorsäureresten veresterte Ringstruktur. Sie kann durch Phytasen während der Verdauung oder Lebensmittelverarbeitung bis zu myo-Inositol abgebaut werden. Je mehr Phosphorsäurereste abgespalten werden, desto geringer sind die ernährungsphysiologischen Eigenschaften der Phytinsäure im Hinblick auf die Metallionenkomplexierung (Belitz et al. 2008; Rochfort und Panozzo 2007).

Hülsenfrüchte und Getreide gelten als Hauptquelle für Phytinsäure und somit auch für Phosphat (Stelling und Naumann 1999; Rochfort und Panozzo 2007). Phytinsäure ist dabei mit der Proteinfraktion assoziiert. Ihr Gehalt liegt in Hülsenfrüchten unter 2% (Champ 2002; Rochfort und Panozzo 2007). Der Phytatgehalt von Lupinen scheint vernachlässigbar zu sein, da festgestellt wurde, dass die Zinkabsorption nach Verzehr von Lupinenprodukten besser war als nach Verzehr von Sojaprodukten (Petterson 1998).

Tabelle 5: Phytatgehalte der einheimischen Hülsenfrüchte und Soja

Ackerbohne	Erbse	Lupine	Sojabohne (Kleie)
0,5 – 1,1	0,2 – 1,3	0,6 – 1,0 [2]	2,5 – 5,5

Angaben in %; [1] (Champ 2002) [2] (Petterson 1998)

Haupteigenschaft der Phytinsäure ist die Komplexierung von mehrwertigen Metallionen. Dies führt zum einen zu einer verminderten Mineralstoffverfügbarkeit (Carle 2010; Rochfort und Panozzo 2007), zum anderen kann das aber auch z.B. vor eisenverursachtem Krebs schützen. Man hat mittlerweile antioxidative, blutzucker- und insulinsenkende, cholesterinsenkende und starke antikanzerogene Wirkungen, meist in Tierversuchen, festgestellt (Champ 2002). Die Zuordnung der Phytinsäure zu den antinutritiven Stoffen trifft also nicht mehr zu.

Der Phytinsäuregehalt kann durch Keimung der Samen stark gesenkt werden. Auch durch Wässern und Kochen wird er reduziert. Fermentation hat dagegen nur einen geringen Einfluss (Rochfort und Panozzo 2007; Champ 2002).

3.3.6 Phytosterine

Die Phytosterine oder Phytosterole sind Strukturkomponenten von pflanzlichen Zellmembranen. Sie sind dem tierischen Cholesterin strukturell sehr ähnlich, werden aber im Magen-Darm-Trakt in wesentlich geringerem Maß resorbiert (Watzl 1999).

Ihr Vorkommen in Hülsenfrüchten ist gering, da sie an die Anwesenheit von Fett geknüpft sind (Watzl 1999). Lupine, Soja und Erdnuss bilden als fettreiche Hülsenfrüchte eine Ausnahme. Am bekanntesten sind β-Sitosterol, Campersterol und Stigmasterol (Rochfort und Panozzo 2007). Davon kommt das Erstgenannte am häufigsten in pflanzlichen Lebensmitteln vor (zu 65%) (Ternes et al. 2005).

Phytosterine können LDL-Cholesterin senken, deshalb werden sie heute verschiedenen Lebensmitteln, z.B. Margarine, zugesetzt (Duane 1997; Champ 2002). Dadurch könnten fettreiche Hülsenfrüchte die Mortalitätsrate von kardiovaskulären Krankheiten senken. Es liegen auch Hinweise vor, dass Phytosterine vor Dickdarmkrebs schützen können (Rochfort und Panozzo 2007). Jedoch gibt es Menschen, bei denen sie keinen Einfluss haben (Biesalski und Adolph 2010).

Durch Raffination bei der Ölgewinnung wird der Gehalt an Phytosterinen gesenkt (Ternes et al. 2005). Dieser Arbeit liegen keine Daten über Einflüsse anderer Verarbeitungsschritte (z.B. Kochen) vor.

3.3.7 Polyphenole

Die Polyphenole umspannen eine große Stoffgruppe. Sie sind in sehr vielen Pflanzen zu finden. Dazu zählen unter anderem einfache Phenole, Phenolsäuren, Lignane, Chalkone, Flavonoide und Stilbene. Ihnen allen gemein ist die Grundstruktur des Phenols (Belitz et al. 2008; Biesalski und Adolph 2010). Charakteristisch für Hülsenfrüchte sind Isoflavone (Untergruppe der Flavonoide), Lignane und Tannine (Champ 2002; Rochfort und Panozzo 2007). Deshalb wird im Folgenden nur auf diese Stoffe eingegangen.

3.3.7.1 Phytoöstrogene

Phytoöstrogene bezeichnen Stoffe, die ähnlich wie Östrogene aufgebaut sind und dadurch an Östrogenrezeptoren andocken können. Dazu zählen Isoflavone, Coumestane und Lignane. Lignane sind gleichzeitig Vorstufen von Lignin.

Die bedeutendsten Phytoöstrogene sind die Isoflavone. Man findet sie vor allem in Soja und in wesentlich geringeren Mengen in anderen Hülsenfrüchten (Carle 2010; Champ 2002). Ihr Vorkommen ist an das Vorhandensein der Isoflavon-Synthase gekoppelt. Lignane finden sich vor allem in ballaststoffreichen Lebensmitteln (Watzl 1999). Erbsen enthalten sehr wenig Genistein und Daidzein (Champ 2002). In Lupinen sind bislang keine Phytoöstrogene gefunden worden (Rochfort und Panozzo 2007).

Tabelle 6: Bekannte Phytoöstrogene

Isoflavone	Coumestane	Lignane
▪ Biochanin A ▪ Daidzein ▪ Formononetin ▪ Genistein	▪ Coumestrol ▪ Sativol ▪ Trifoliol ▪ Repensol ▪ 4'-Methyoxycoumestrol	▪ Secoisolaricirensinol ▪ Matairesinol

(Champ 2002; Rochfort und Panozzo 2007; Ternes et al. 2005)

Phytoöstrogene ahmen die Wirkungen von Östrogen nach, wirken aber wesentlich schwächer als 17β-Östradiol. Sie können bei der Prävention von hormonabhängigen Ereignissen helfen (Champ 2002). Dazu zählen Krebsprävention, menopausale Symptome, koronare Herzkrankheiten und Osteoporose. In Zukunft könnten sie eventuell auch bei neurodegenerativen Erkrankungen, wie Parkinson, und metabolischen Störungen, wie Hypercholesterinämie, eine Rolle spielen (Rochfort und Panozzo 2007). Lignane sind außerdem wirksame Antioxidantien (Ternes et al. 2005). Andererseits gibt es aber auch Hinweise auf Tumorwachstum und Unfruchtbarkeit (Champ 2002).
Der Verarbeitungsgrad der Hülsenfrüchte beeinflusst den Isoflavongehalt, die Struktur der Isoflavone und ihre Resorbierbarkeit (Rochfort und Panozzo 2007), z.B. steigert Fermentation die Resorbierbarkeit von Isoflavonen aus Soja (Watzl 1999).

3.3.7.2 Tannine

Tannine, auch Gerbstoffe genannt, sind stark hydrolysierte Polyphenole, in warmem Wasser löslich und können mit Proteinen und Kohlenhydraten unlösliche Komplexe bilden. Man unterscheidet zwischen hydrolysierbaren und kondensierten Tanninen. Letztere werden auch als Proanthocyanidine bezeichnet. Nähere Informationen zur Struktur geben Belitz et al. (2008), Wagner (1999) und Petterson (1998).
In den Schalen von Erbsen- und Ackerbohnensorten sind kondensierte Tannine gefunden worden. Bei beiden Arten sind die Gehalte in buntblühenden Sorten höher als in Weißblühenden (Champ 2002; Fang et al. 2010). Der Gehalt kondensierter Tannine in den Schalen von *L. albus* und *L. angustifolius* ist vernachlässigbar. Er liegt unter 0,01% (Petterson 1998)
Als günstige Wirkung der Tannine ist die Senkung des Blutzuckerspiegels zu nennen. Die Bildung unverdaulicher Tannin-Protein-Komplexe führt unter anderem zum adstringierenden Geschmack tanninreicher Lebensmittel (z.B. Tee). Als weitere ungünstige Wirkungen werden Inhibierung von Verdauungsenzymen, erhöhte Ausscheidung endogener Proteine, erhöhtes Krebsrisiko in Mund und Speiseröhre, Senkung der Nahrungszufuhr und Toxizität beschrieben (Champ 2002).
Durch Schälen der Samen werden die Tanningehalte der Hülsenfrüchte gesenkt (Champ 2002; Petterson 1998). Dadurch wird gleichzeitig die Proteinverdaulichkeit erhöht, bei

Ackerbohnen um 85-90% (Madar und Stark 2002). Auch Erhitzen und das Einweichen in Wasser kann Einfluss auf den Tanningehalt haben (Ternes et al. 2005).

3.3.8 Protease-Inhibitoren

Wie allgemein bekannt, haben Protease-Inhibitoren ihren Namen aufgrund ihrer bekanntesten Eigenschaft, Proteinasen zu hemmen, erhalten. Sie inhibieren dabei sowohl proteolytische als auch esterolytische Prozesse (Wagner 1999). Aufgebaut sind sie aus Polypeptidketten. Ihre Aminosäuresequenz ist möglicherweise sowohl für die Protease-spezifität als auch für die Ausbildung anderer Wirkungen verantwortlich.

Die Inhibitoren sind charakteristisch für Hülsenfruchtsamen (Champ 2002; Watzl 1999). Am bekanntesten sind Trypsin- und Chymotrypsin-Inhibitoren. Auch α-Amylase-Inhibitoren zählen dazu (Champ 2002). Sie können jedoch auch von Tieren und Bakterien synthetisiert werden (Watzl 1999; Wagner 1999). Näheres zu den einzelnen Inhibitoren steht bei Belitz et al. (2008). Wegen ihrer Wirkung Verdauungsenzyme zu inhibieren wurden sie lange Zeit als antinutritiv eingestuft. Mittlerweile sind aber auch günstigere Wirkungen entdeckt worden. So hat man antifungale Aktivität bei Protease-Inhibitoren der Ackerbohne festgestellt (siehe Kap. 4.4)(Fang et al. 2010; Ye und Ng 2002).

Durch Erhitzen werden Protease-Inhibitoren meist inaktiviert (Ternes et al. 2005). Auch nasse Fraktionierung und Proteinisolatbildung können die Inhibitoraktivität reduzieren (Champ 2002).

3.3.9 Saponine

Saponine bilden eine sehr heterogene Glykosidgruppe. Sie bestehen aus einem polaren Zuckeranteil (Pentosen, Hexosen oder Uronsäuren) und einem unpolaren Nicht-Zucker-Anteil, dem Sapogenin. Nach der Art des Sapogenins unterscheidet man zwischen Steroid-Saponinen und Triterpen-Saponinen. Belitz et al. (2008), Shi et al. (2004) und Wagner (1999) geben detaillierte Angaben zum Aufbau der Saponine.

Saponine (lat. „*sapo*“ = Seife) können in wässrigen Lösungen starke Schäume bilden. Sie besitzen eine starke Oberflächenaktivität, aus welcher sich günstige und ungünstige Wirkungen ergeben (siehe Kap. 4; Shi et al. 2004). Diese sind von der jeweiligen Saponinstruktur abhängig (Belitz et al. 2008; Wagner 1999). Scheinbar kann ihre biologische Aktivität durch bakterielle Hydrolyse im Darm erhöht werden (Hu et al. 2004). Am besten sind bisher die Saponine der Sojabohne untersucht (Belitz et al. 2008).

Vor allem die Triterpen-Saponine sind in der Pflanzenwelt weit verbreitet. Sie sind auch für Hülsenfrüchte charakteristisch. Die Saponingehalte der einzelnen Arten sind dabei von Sorte und Anbaubedingungen abhängig (Shi et al. 2004; Belitz et al. 2008). Lupinen enthalten weniger Saponine als Erbsen und Ackerbohnen (Petterson 1998). Die Schale von Acker-

bohnen enthält keine Saponine (Römer 1998).

Saponine weisen eine geringe biologische Verfügbarkeit auf. Ihre Wirkungen entfalten sie daher hauptsächlich im Gastrointestinaltrakt. Sie können mit Proteinen, Lipiden (z.B. Cholesterin) und Mineralstoffen Komplexe bilden, binden aber kein Vitamin D (Belitz et al. 2008). Aus der komplexierenden Fähigkeit ergeben sich wahrscheinlich ihre hämolytischen, antimikrobiellen, antikanzerogenen, cholesterinsenkenden, antioxidativen und entzündungshemmenden Wirkungen (Watzl 1999; Rochfort und Panozzo 2007; Wagner 1999; Shi et al. 2004). Nur einige Saponine sind toxisch; meist erst in großen Mengen. Beispielsweise sind die Sojasaponine nicht giftig (Shi et al. 2004). Bitterer Geschmack und häufige Adstringenz verhindern die Aufnahme großer Mengen (Shi et al. 2004; Wagner 1999).

Kochen und Verarbeitung haben unterschiedlich starke Saponinverluste zur Folge. Dabei können auch Umwandlungen in andere Saponine auftreten. Auch Einweichen der Samen kann zu Verlusten führen (Rochfort und Panozzo 2007; Watzl 1999). Ausführliche Beschreibungen dazu sind bei Shi et al. (2004) zu finden. Da die Saponine im neutralen pH-Bereich hitzestabil sind, könnte die Zugabe von Essig (z.B. beim Kochen von Linseneintopf) auch einen Einfluss auf den Saponingehalt durch Senkung des pH-Wertes haben.

4 Wirkungen der Inhaltsstoffe (ernährungsphysiologisch & biofunktionell)

Lebensmittel dienen heute nicht mehr ausschließlich dazu, den Körper mit Nährstoffen zu versorgen und zu sättigen. Der Trend zeigt, dass sie einen bestimmten gesundheitlichen Zusatznutzen erfüllen sollen, z.B. durch Zusatz von Ballaststoffen, Vitaminen und sekundären Pflanzenstoffen. Diese Lebensmittel bezeichnet man als funktionelle Lebensmittel (*functional food*). Unter anderem sind für deren Herstellung die ernährungsphysiologischen Wirkungen von Lebensmittelinhaltsstoffen interessant. Unter diesen Wirkungen versteht man sowohl die günstigen als auch die ungünstigen Effekte dieser Stoffe auf den Körper. Somit könnten biofunktionelle Wirkungen als zusätzliche, ernährungsphysiologische Wirkungen zugesetzter Stoffe bezeichnet werden, die einen Anspruch des besonderen gesundheitlichen Nutzens haben sollen. Durch immer tiefgreifendere Erkenntnisse wird deutlich, dass nicht alle Hülsenfrüchte die gleichen Wirkungen haben. Mit Ausnahme der Sojabohne ist über die Wirkungen der einzelnen Hülsenfrüchte leider nur wenig bekannt. Dieses Kapitel wird die in den vorherigen Kapiteln bereits genannten Wirkungen der Inhaltsstoffe (der einheimischen Körnerleguminosen) aufgreifen und kurz beschreiben, außer der des Favismus. Diese Wirkung wird in Kap. 6.2 noch einmal näher betrachtet.

4.1 Allergene Wirkungen

Lebensmittelallergien zeigen sich durch Symptome nach Nahrungsaufnahme, welche infolge immunologischer Reaktionen auftreten. Sie können direkt und als Kreuzallergie auftreten (Belitz et al. 2008). Besonders allergen haben sich neben Erdnüssen die Lupinen gezeigt. In verschiedenen Studien wurden allergene Proteine aus Lupinensamen isoliert und auf ihr allergenes Potenzial untersucht (Foley et al. 2011; Guillamón et al. 2010). Dabei waren alle Proteine der β-Conglutin-Gruppe von *L. angustifolius* potenzielle Allergene, besonders für Personen mit Lupinenallergie (Foley et al. 2011). Guillamón et al. (2010) konnten in ihrer Studie zwei Hauptallergene bei *L. albus* feststellen, Lup-1 (β-Conglutin) und Lup-2 (α-Conglutin). Diese reagierten *in vitro* mit lupinenspezifischen IgE aus den Seren von 23 Patienten. Gleichzeitig konnten für beide Hauptallergene sequentielle Ähnlichkeiten zu Allergenen von anderen Leguminosen festgestellt werden. Die Autoren glauben, dass eventuell dadurch das hohe Kreuzallergierisiko von Lupinen erklärt werden kann.

4.2 Antiinflammatorische Wirkungen

Um entzündliche Vorgänge im Körper zu reduzieren oder zu unterbinden, sind antiinflammatorisch (entzündungshemmend) wirkende Stoffe nötig. Zu Stoffen aus einheimischen Hülsenfrüchten mit dieser Wirkung ist noch nicht viel bekannt. Neben Peptiden aus Erbsenprotein (Ndiaye et al. 2011) könnten auch Phenole, Fettsäuren (Okada et al. 2010), Magnesium, Ballaststoffe und andere bioaktive Substanzen dafür verantwortlich sein (Hermsdorff et al. 2011).

Ndiaye et al. (2011) bestätigten in ihrer Studie die antiinflammatorische Wirkung von enzymatisch gewonnenen Peptiden aus gelben Erbsensamen in LPS/IFN-γ-aktivierten RAW 264.7 NO(-) Makrophagen und an Mäusen. Die Autoren sind der Meinung, man könnte diese Peptide künftig auch zur Prävention von entzündungsbedingten Krankheiten nutzen. Doch sind dafür noch Humanstudien nötig. Eine 2011 von Hermsdorff et al. veröffentlichte randomisierte Interventionsstudie an 30 adipösen Probanden (BMI: 32.5 ± 4.5 kg/m²) konnte nach dem Verzehr kalorienreduzierter Kost auf Hülsenfruchtbasis eine starke Senkung proinflammatorischer Marker (C-reaktives Protein und Komplement C3) feststellen. Es wurden dabei jeweils einmal pro Woche (über acht Wochen) Erbsen, Bohnen, Linsen und Kichererbsen verzehrt. Die Senkung der Marker in der Gruppe ohne Hülsenfrüchte war nicht so stark. Trotzdem ist diese Studie kritisch zu betrachten. Die Probandenzahl ist für die Belegbarkeit der Effekte und für Verzehrsempfehlungen zu gering. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Wirkungen auf dem Zusammenspiel mit anderen Lebensmitteln beruhen.

Die Wirkung einheimischer Hülsenfrüchte auf das antiinflammatorisch und antiatherogen wirkende Adiponektin ist scheinbar bislang nicht erforscht. Bisher liegt nur eine Studie von Okada et al. (2010) vor. Dabei wurde für phenolhaltige Extrakte aus Zuckerschoten und

anderen Hülsenfrüchten in 3T3-L1 Maus-Adipozyten eine Steigerung der Adiponektin-produktion und Senkung der TNFα-Sekretion (um 100%) festgestellt. Es könnte eine dosisabhängige Adiponektinproduktion vorliegen, deren Optimum eventuell bei einer Extrakt-menge von < 2 µl liegt. Ob Phenole, gesättigte Fettsäuren oder *hydrangeic acid* (Stilben) für die Wirkung verantwortlich sind, konnte nicht geklärt werden. Es wurde aber gezeigt, dass Adiponektin und TNF-α ihre Expression wechselseitig regulieren (Okada et al. 2010). Die Wartezeit von 48 Stunden bis zur Adiponektinmessung könnte unrealistisch und zu lange in Bezug auf die Expression in Tier und Mensch sein. Es sind auf alle Fälle weitere Studien zu diesem Thema nötig, nicht nur mit einzelnen Inhaltsstoffen für Medikamente und funktionelle Lebensmittel, sondern auch mit den Hülsenfrüchten als Lebensmittel. Aus der Studie geht nicht hervor, aus welcher Menge Lebensmittel die Proben gewonnen wurden. Dies wäre interessant, um eventuell neue Verzehrsempfehlungen für Hülsenfrüchte geben zu können.

4.3 Antikanzerogene Wirkungen

Krebs ist in den letzten Jahren ein großes Thema geworden. In diesem Zusammenhang könnten Hülsenfrüchte in Zukunft, als Teil der Prävention durch Ernährung, eine größere Rolle spielen. Es sind bereits antikanzerogene Wirkungen von Phytoöstrogenen Protease-Inhibitoren, Phytinsäure, Saponinen, Lignanen und anderen Phenolen aus Hülsenfrüchten bekannt. Teilweise sind diese Wirkungen mit antioxidativen Wirkungen verknüpft (Champ 2002; Shi et al. 2004). Menschen mit hoher Protease-Inhibitor-Aufnahme zeigten eine geringere Krebsmortalitätsrate. Die Inhibitoren unterdrückten auch *in vitro* die maligne Transformation von Zellen nach Karzinogenexposition. Phytinsäure zeigte neben Risikos-enkung für eisenverursachten Krebs auch andere wirkungsvolle antikanzerogene Wirkungen. Für Phytoöstrogene und Lignane liegen unterschiedliche Feststellungen über die Wirkung gegenüber Krebs vor. Einerseits könnten sie zur Prävention von hormonabhängigen Krebs-arten geeignet sein, andererseits besteht die Annahme, dass sie das Tumorwachstum erhöhen. Bei Tieren liegen erste Hinweise auf die Wachstumssenkung von Tumoren durch Lektine vor (Champ 2002). Saponine zeigten im Tierversuch Einfluss auf Darmkrebs (Shi et al. 2004). Nachweislich kanzerogen wirken Tannine. Jedoch gibt es Hinweise auf die Bildung von Abwehrmechanismen des Körpers (Champ 2002).

Zu antikanzerogenen Eigenschaften einheimischer Hülsenfrüchte gibt es bisher nur wenige Hinweise. Zwei rekombinante Protease-Inhibitoren aus Erbsensamen senkten *in vitro* dosis-abhängig das Wachstum humaner kolorektaler Adenokarzinomzellen HT29. Dabei zeigte einer der Inhibitoren stärkere Aktivität als der zum Vergleich genutzte Bowman-Birk Trypsin-Chymotrypsin-Inhibitor der Sojabohne (Clemente et al. 2005). Ein Trypsin-Chymotrypsin-Inhibitor aus *Vicia faba L.* regte dagegen die Zellteilung von Maus-Milzellen an (Ye und Ng 2002). Aus beiden Studien kann geschlussfolgert werden, dass der Inhibitoraufbau für

antikanzergene Wirkungen entscheidend sein könnte. Außerdem könnten zukünftig isolierte Protease-Inhibitoren bei der Behandlung von Darmkrebs eingesetzt werden, wenn sich die Wirkungen bestätigen lassen. Auch Lektine der Ackerbohne können eventuell den Verlauf von Darmkrebs verlangsamen und unkontrollierte Zellproliferation inhibieren (Madar und Stark 2002).

Tabelle 7: (Mögliche) Antikanzerogene und kanzerogene Stoffe der einheimischen Hülsenfrüchte

Ackerbohne	**Erbse**	**Lupine**
▪ Lektine ▪ Phytinsäure ▪ Saponine ▪ Tannine ▪ Trypsin-Inhibitor	▪ Lektine ▪ Phenolsäuren ▪ Phytinsäure ▪ Phytoöstrogene (Genistein, Daidzein) ▪ Protease-Inhibitoren (Trypsin, Chymotrypsin, Amylase) ▪ Saponine ▪ Tannine	▪ Lektine ▪ Trypsin-Inhibitor (in *L. albus*)

Nach Champ (2002)

4.4 Antimikrobielle Wirkungen

Protease-Inhibitoren der Ackerbohne zeigten bei *in vitro*-Versuchen antifungale Aktivität (Fang et al. 2010; Ye und Ng 2002). Dabei wirkten die Protease-Inhibitoren scheinbar pilzspezifisch. Der durch Fang et al. (2010) in *Vicia faba cv. Egypt 1* entdeckte Trypsin-Inhibitor VFTI-E1 wirkte gegen den filamentösen Pilz *Valsa mali*. Für VFTI-E1 konnte in diesem Zusammenhang auch gezeigt werden, dass sich seine membranolytischen Fähigkeiten auf den Pilz beschränken und für Erythrozyten von Mensch und Kaninchen scheinbar ungefährlich sind. Ye und Ng (2002) entdeckten einen Trypsin-Chymotrypsin-Inhibitor mit antifungaler Aktivität gegenüber *Mycosphaerella arachidicola* und *Physalospora piricola*. Außerdem inhibierte er *in vitro* die Aktivität der humanen HIV-1 reversen Transkriptase. Er könnte, nach weiterer Forschung, in Zukunft nützlich bei der Behandlung von Pilzerkrankungen bei HIV-Patienten sein.

Für Peptide aus Erbsensamen konnten in einer Studie von Niehues et al. (2010) antiadhäsive Wirkungen gegenüber *Helicobacter pylori* festgestellt werden. Dabei wirkten Peptidgemische besser als einzeln aufgereinigte Peptide (siehe Kap. 5.1). Die Wirksamkeit wurde bisher jedoch nur *in vitro* an adhärenten gastrischen Adenokarzinomepithelzellen und *in situ* an humanen Magengewebszellen erprobt. Die Ergebnisse deuten jedoch auf ein großes Potenzial der Erbsenpeptide hin, Menschen zukünftig vor Neu- und Reinfektionen mit *H. pylori* schützen zu können. Weiterhin können sie eventuell auch bei anderen bakteriellen Infektionen anstelle von Antibiotika eingesetzt werden.

Im Zusammenhang mit antimikrobiellen Wirkungen der einheimischen Hülsenfrüchte liegen zurzeit nur wenige *in vitro*-Studien vor. Hier besteht noch viel Forschungsbedarf, unter anderem müssen Humanstudien noch die Wirksamkeit bzw. Ungefährlichkeit für den Menschen feststellen. Protease-Inhibitoren und bioaktive Peptide könnten allerdings sowohl bei der Herstellung von funktionellen Lebensmitteln als auch in der Medizin künftig eine große Rolle bei der Bekämpfung von unerwünschten Mikroben spielen, z.B. bei Pilzerkrankungen von HIV-infizierten Patienten oder bei Neu- und Reinfektionen mit *H. pylori*.

4.5 Antioxidative Wirkungen

Zu antioxidativen Wirkungen zählen direkte und indirekte Radikalfängeraktivität, direkt durch den Stoff selbst und indirekt durch die positive Beeinflussung anderer Stoffe mit dieser Aktivität. Saponine können vor Cholesterin-, Lipidperoxidation und Radikalattacken auf Proteine schützen (Shi et al. 2004). Allerdings liegen dazu keine spezifischen Hinweise für Erbse, Ackerbohne und Lupine vor.

Wasserlösliche Proteine der Ackerbohne zeigten im Fibroblastenmodell erhöhte antioxidative Fähigkeiten durch Erhöhung der Katalaseaktivität und der Glutathionkonzentration (Madar und Stark 2002). Pownall et al. (2010) konnten für bioaktive Peptide aus Erbsensamen *in vitro* Metallchelatierung, Verhinderung von Linolsäureoxidation und Fangen verschiedener Radikale feststellen. Im Vergleich zu Glutathion hatten Peptide schlechtere Radikalfänger-eigenschaften, aber bessere Metallchelatierung- und Linolsäureschutzeigenschaften. Es konnte bestätigt werden, dass der Anteil hydrophober Aminosäuren bei der Ausbildung antioxidativer Eigenschaften eine wichtige Rolle spielt. In einer anderen Studie konnten antioxidative Eigenschaften für bioaktive Erbsenpeptide am Makrophagenmodell bestätigt werden (Ndiaye et al. 2011). Lupinenprotein zeigte bei apo-E-defizienten Mäusen keine Beeinflussung der Aktivität von Glutathionperoxidase in Plasma und Leber (Weisse et al. 2010).

Phenolhaltige Trockensamenextrakte aus Zuckerschoten zeigten *in vitro*, im Vergleich zu Catechin (IC_{50} = 0,98 µg/ml), nur sehr geringe Radikalfängeraktivität (IC_{50} = 25,8 µg/ml). Die antioxidative Wirkung könnte vielleicht vom Zusammenspiel mehrerer Stoffe oder verschiedener Wirkmechanismen herrühren, was jedoch nicht untersucht wurde (Okada et al. 2010).

In Zukunft könnte man sich diese Wirkungen beispielsweise bei der Prävention von Diabetes mellitus Typ 2 zunutze machen, da hier oxidativer Stress eine Rolle bei der Bildung einer Insulinresistenz spielt. Auch Entzündungsreaktionen von Adipozyten liegen erhöhte ROS-Bildungen zugrunde (Okada et al. 2010).

4.6 Immunmodulatorische Wirkungen

Auf allergene (Kap. 4.1), antioxidative (Kap. 4.5), und antiinflammatorische Wirkungen (Kap.

4.2) ist bereits eingegangen worden. Auch sie spielen bei der Immunmodulation eine Rolle und sind manchmal nicht klar zu trennen. Hier soll nur noch einmal erwähnt werden, dass Proteine der Lupine das Immunsystem stark beeinflussen können (Foley et al. 2011; Guillamón et al. 2010) (BfR-Pressestelle 2011).

Bioaktive Peptide aus gelben Erbsensamen zeigten nach oraler Aufnahme bei Mäusen erhöhte Phagozytoseaktivität der peritonealen Makrophagen und Stimulierung der Immunreaktion der Darmmukosa. Es wurden sowohl IgA+ und IL-6 (im Dünndarm) als auch IL-4+, IL-10+ und IFN-γ+ erhöht. Damit konnten Hinweise auf das immunmodulatorische Potenzial von Erbsensamen bestätigt werden (Ndiaye et al. 2011). Die zugrunde liegenden Mechanismen sind noch unklar und auch weitere Forschung ist nötig, aber eventuell könnten die Erbsenpeptide künftig zur Prävention und Therapie von entzündlichen Erkrankungen genutzt werden.

Für Saponine sind bereits immunstimulierende und antioxidative Wirkungen bekannt. Sie können dadurch vor Krebs schützen. Außerdem können sie die Wirkung von Impfstoffen verstärken. In wieweit dies auf die Saponine der einheimischen Hülsenfrüchte auch zutrifft, geht aus dem Review von Shi et al. (2004) nicht hervor. Es ist vermutlich nicht unwahrscheinlich, auch wenn die Wirkmechanismen variieren werden.

Durch α-Galaktoside von Lupinen (*L. angustifolius)* und Erbsen konnten *in vitro* plaquebildende Zellen (IgM-PFC) gesenkt werden (Gulewicz et al. 2002). Dies deutet auf ein immunmodulatorisches Potenzial hin.

4.7 Blutzuckerbeeinflussende Wirkungen

Man geht davon aus, dass Phytinsäure, Lektine, Amylase-Inhibitoren, Polyphenole und Tannine der Hülsenfrüchte den Blutzucker und die Insulinreaktion beeinflussen können. Lektine beeinträchtigen die Nährstoffabsorption aus dem Darm mit der Folge, dass der Blutzucker sinkt. Amylase-Inhibitoren beeinflussen die Stärkeverdauung. Sie hatten jedoch in verschiedenen Studien nicht zweifelsfrei blutzuckersenkende Wirkungen. Eine Senkung des Blutzuckers durch Phytinsäure erfolgt wahrscheinlich indirekt über die Beeinflussung des Fettstoffwechsels (Champ 2002).

Der blutzuckersenkende Effekt durch Ballaststoffe scheint von deren Zusammensetzung abzuhängen. *Melawach* (traditionelles israelisches frittiertes Brot) mit Ballaststoffen aus Lupinensamen beeinflusste den postprandialen Blutzucker von nicht-insulin-pflichtigen Diabetikern nicht so sehr wie Johannisbrotkernballaststoffe. Jedoch konnte ein verlangsamter Blutzuckeranstieg gegenüber normal zubereitetem Melawach festgestellt werden. Als mögliche Ursachen führen die Autoren 1) die Entfernung blutzuckersenkender antinutritiver Stoffe, 2) die Interaktionsbeeinflussung der Zutaten bei der Zubereitung des *Melawach* und 3) die Lupinenballaststoffkomposition (vgl. Kap. 3.2) an (Feldman et al. 1995). Hall et al.

(2005a) konnten bei 38 gesunden Männern keinen Einfluss von mit *Lupin kernel fibre* (neuer Lebensmittel-Inhaltsstoff aus Lupinen; hoher Ballaststoffanteil) angereicherten Lebensmitteln auf den Blutzuckerspiegel feststellen. Zugesetzt waren am Tag zwischen 17 und 30 g Ballaststoffe im Vergleich zur Kontrolldiät. Auch eine Humanstudie mit 56 hypercholesterinämischen Personen zeigte bei einer täglichen Aufnahme von 35 g Lupinenprotein über sechs Wochen keine Änderungen der Plasmaglukosekonzentration (Weiße et al. 2009).

Nach dem Zusatz von *Australischem Süßlupinenmehl* (7,7 g je 115 g Brot) wurde eine gesenkte Blutzuckerreaktion nach dessen Verzehr festgestellt. Dies könnte, laut Autoren, am hohen Protein- oder Ballaststoffgehalt des Mehls oder an sekundären Pflanzenstoffen der Lupine liegen. Der glykämische Index ist vergleichbar dem anderer ballaststoffangereicherter Brote gewesen und könnte deshalb als niedrig eingestuft werden. Er wird wahrscheinlich durch eine erhöhte Insulinreaktion beeinflusst (Hall et al. 2005b). In Hühnern wurden nach Fütterung von Lupinensamen (0, 200, und 400 g/kg) auch gesenkte Blutzuckerspiegel gemessen. Das könnte aber auch eine Folge der beschriebenen verminderten Futterverdauung gewesen sein (Viveros et al. 2007). Im Gegensatz dazu war die Erhöhung der Ovulationsrate durch Lupinensamenfütterung bei Schafen mit einer Erhöhung des Blutzuckers (um 20 mg/dl gegenüber Kontrolle) und der glykogenen Aminosäuren (Gly, Ala, Val, Met, Leu, Ile, Tyr, Phe und Arg) verbunden. Wahrscheinlich beeinflusst Glucose in diesem Fall den Leptinspiegel und lokal die Energiebereitstellung der Ovarien (Kosior-Korzecka und Bobowiec 2003).

Aufgrund der Daten aus den Tier- und Humanstudien kann geschlussfolgert werden, dass für Lupinenproteine und -ballaststoffe nicht zweifelsfrei blutzuckersenkende Effekte vorliegen. Die Beeinflussung des Leptins sollte auch am Menschen untersucht werden, da hier Potenzial zur Gewichtsregulation besteht. Inwieweit für Ackerbohne und Erbse ähnliche Effekte bestehen konnte hier nicht wiedergegeben werden.

Tabelle 8: (Mögliche) Blutzucker- und insulinreaktionsbeeinflussende Inhaltsstoffe der einheimischen Hülsenfrüchte

Ackerbohne	**Erbse**	**Lupine (*L. albus*)**
▪ Lektine	▪ Amylase-Inhibitor	▪ Lektine
▪ Phytate	▪ Lektine	▪ Ballaststoffe (?)
▪ Tannine	▪ Phytate	▪ Proteine (?)
▪ Stärke	▪ Phenolsäuren	
▪ Ballaststoffe	▪ Tannine	
▪ Proteine (??)	▪ Stärke	
	▪ Ballaststoffe	
	▪ Proteine (??)	

Nach Champ (2002); (?) unterschiedliche Ergebnisse (??) keine Angabe

Nach 30tägigem Verzehr von Lebensmitteln mit Ackerbohnenmehl (täglich 90 g roh oder gekocht zugesetzt) konnte bei jungen Männern (18-21 Jahre) mit kritischen bis hohen

Serumcholesterinwerten ein starke Senkung des Blutzuckers festgestellt werden, möglicherweise durch Phytate (Frühbeck et al. 1997).

4.8 Insulinbeeinflussende Wirkungen

Lupinenballaststoffe haben wahrscheinlich nur sehr wenig Einfluss auf den Insulinspiegel. Zwei Humanstudien untersuchten deren Insulinsekretions-beeinflussenden Eigenschaften (Hall et al. 2005a; Feldman et al. 1995). Ihr Zusatz (15 bis 46 g/Tag) zeigt keine bzw. nur eine gering senkende Wirkung auf den postprandialen Insulinspiegel von Gesunden bzw. nicht-insulin-pflichtigen Typ 2 Diabetikern. Eventuell besteht aber ein Langzeit-Effekt (Feldman et al. 1995). In der Diabetiker-Studie könnten Ergebnisse durch die gleichzeitige Behandlung von elf der 14 Probanden mit Glibenclamid oder Metformin beeinflusst worden sein. Lupinenmehl mit 42 g Protein /kg zeigte eine erhöhte Insulinsekretion (Hall et al. 2005b). Dieses Ergebnis führen die Autoren auf verschiedene Proteine und Aminosäuren (wie Arginin) zurück. Im Gegensatz dazu ließen sich Insulinspiegel und Blutglukose durch 30tägigen Verzehr von 90 g Ackerbohnenmehl /Tag bei jungen Männern mit Hypercholesterinämie stark senken. Glucagon wurde dagegen stark erhöht. Cortisol und Schilddrüsenhormone wurden nicht signifikant beeinflusst (Frühbeck et al. 1997). Die Autoren nehmen an, dass die Veränderungen der Glucagon- und Insulinspiegel teilweise mit dem blutlipidsenkenden Effekt der Ackerbohne zusammenhängen (vgl. Kap. 4.9). Das Insulin könnte auch durch Phytinsäure oder die Ballaststoffe direkt beeinflusst worden sein (Frühbeck et al. 1997).

Phenole aus Zuckerschoten und anderen Hülsenfrüchten haben scheinbar keinen direkten Einfluss auf die Insulinsekretion, jedoch kann die Insulinsensitivität durch ihre *in vitro* festgestellte Stimulation der Adiponektinproduktion und Inhibierung der TNFα-Produktion eventuell günstig beeinflusst werden. Noch ist nicht hinreichend klar, ob Phenole oder *hydrangeic acid* dafür verantwortlich sind (Okada et al. 2010). Die Bestätigung dieses Effekts wäre günstig für einen nichtmedikamentösen Therapieansatz bei Typ 2 Diabetes. Allerdings bedarf dieser Hinweis noch vermehrter Forschung, in die auch Erbsen, Ackerbohnen und Lupinen einbezogen werden sollten.

Obwohl Quinolizidinalkaloide der Lupine für ihre toxischen Wirkungen bekannt sind (vgl. 4.15) konnte *in vitro* eine durch sie verursachte Insulinsenkung festgestellt werden. Sie reagierten teilweise besonders gut bei hohen Blutglucosespiegeln (García López et al. 2004).

4.9 Wirkungen auf den Lipidstoffwechsel

Hypercholesterinämie ist ein Hauptgrund für kardiovaskuläre Erkrankungen. Dabei kann jede Senkung des LDL-Cholesterins um jeweils 1% das Mortalitätsrisiko dieser Erkrankungen um jeweils 1% reduzieren (Rochfort und Panozzo 2007). Hinweise auf die Beeinflussung der

Fettverdauung sind im Kap. 4.13 zu finden.

Es wurden bislang nicht sehr viele Tierstudien zu den Wirkungen der einheimischen Körnerleguminosen auf den Lipidstoffwechsel durchgeführt. Die vorhandenen Studien beziehen sich auf die lipidsenkenden Eigenschaften von Lupinen (Martins et al. 2005; Viveros et al. 2007), Erbsen (Martins et al. 2004; Wang und McIntosh 1996) und deren Proteine (Brandsch et al. 2010; Rigamonti et al. 2010; Weisse et al. 2010; Weiße 2009). Dabei konnte nur eine Studie von Weisse et al. (2010) an apoE-defizienten Mäusen keine lipidsenkenden Wirkungen feststellen. In den anderen Studien konnten sowohl Plasmatriglyceride, Plasmacholesterin, LDL-Cholesterin als auch VLDL-Cholesterin bei hypercholesterinämischen Ratten und Schweinen deutlich gesenkt werden. HDL-Cholesterin wurde meist erhöht. Bei Hühnern wurde nur eine dosisabhängige Senkung der Plasma-Triglyceride festgestellt (Viveros et al. 2007).

Die Ergebnisse der Tierstudien lassen darauf schließen, dass neben Proteinen auch Phytosterole, Saponine, resistente Stärken, Ballaststoffe, Cholesterin (Martins et al. 2004, 2005) oder Fett (Weiße 2009; Brandsch et al. 2010) für Lipidsenkungen verantwortlich sein können. Außerdem scheinen die Inhaltsstoffe verschiedene Wirkmechanismen zu nutzen (siehe Kap. 5.6), da sowohl eine erhöhte Bildung des hepatischen LDL-Rezeptors als auch eine vermehrte HMG-CoA-Reduktase-Aktivität festgestellt wurden (Martins et al. 2004, 2005). Auch die Regulierung von Genen der zellulären Lipidhomöostase konnte beobachtet werden (Rigamonti et al. 2010). Durch Lupinen erfolgte außerdem eine erhöhte Gallensäure-rückresorption (Martins et al. 2005). Erbsen erhöhten dagegen deren Ausscheidung (Martins et al. 2004). Thermale Behandlung hatte nur einen geringen positiven Einfluss auf die Lipidsenkung (Brandsch et al. 2010; Wang und McIntosh 1996).

In Humanstudien konnten meist nur LDL- und Gesamt-Cholesterinsenkende Effekte beobachtet werden (Duane 1997; Hall et al. 2005a; Hermsdorff et al. 2011; Trinidad et al. 2010; Weiße et al. 2009). HDL-Cholesterin und Triglyceride blieben beispielsweise durch Ballaststoffe aus Lupinen oder Erbsen weitgehend unbeeinflusst (Hall et al. 2005a; Trinidad et al. 2010). Effekte von rohem Ackerbohnenmehl (täglicher Zusatz von 90 g) waren höher (8% LDL, 9% Gesamt-Cholesterin) als von thermisch behandeltem (5 - 7%, 2 - 7%). Diese Studie konnte auch eine positive Korrelation zwischen dem Ausmaß der LDL- und Gesamt-Cholesterinsenkung und der Höhe der Ausgangsblutfettwerte feststellen, gleichzeitig wurde HDL-Cholesterin um 15 bis 18% erhöht und die Plasmatriglyceride gesenkt. Dies weist auf eine Wirkung mehrerer Stoffe und eine Mitwirkung thermolabiler Stoffe an der lipidsenkenden Wirkung von Ackerbohnen hin. Verblüffend waren diese Effekte, da das Ackerbohnenmehl kohlenhydrat- und ballaststoffreich war. So eine Diät tendiert sonst zu Triglyceriderhöhung und Senkung von HDL-Cholesterin (Frühbeck et al. 1997). Auch für isoliertes Ackerbohnen-protein wurde eine Cholesterinsenkung nachgewiesen (Madar und Stark 2002). Die umfang-

reichste Humanstudie umfasste 56 hypercholesterinämische Probanden (randomisiert, doppelt verblindet, placebo-kontrolliert), von denen 23 Frauen und 20 Männer die Studie beendeten. Sie bekamen über einen Zeitraum von sechs Wochen täglich 35 g isoflavonfreies Lupinenprotein oder Casein (zur Kontrolle). Es fiel auf, dass Lupinenprotein im Vergleich zu Casein den LDL-Cholesterinspiegel nur geringfügig senkte. Auch das LDL:HDL-Cholesterin-Ratio wurde gesenkt. Es konnten aber keine Änderungen von HDL-Cholesterin und Plasma-Triglyceriden festgestellt werden (Weiße et al. 2009).

Es bleibt festzuhalten, dass der regelmäßige Verzehr von verschiedenen Hülsenfrüchten mit der Nahrung gegenüber hülsenfruchtloser Kost zur Senkung von LDL- und Gesamt-Cholesterin führen kann (Duane 1997; Hermsdorff et al. 2011). Lupinenprotein scheint dabei Cholesterin nur bei vorliegender Hypercholesterinämie zu beeinflussen (Bettzieche 2010). Über die zugrundeliegenden Mechanismen wird noch spekuliert, jedoch scheint die Beeinflussung von Gallensäuren eine große Rolle zu spielen (Trinidad et al. 2010; Shi et al. 2004). Auch die einzelnen einheimischen Hülsenfrüchte scheinen günstige Einflüsse auf Cholesterin und Lipide zu haben. Verantwortlich dafür könnten Ballaststoffe (Frühbeck et al. 1997; Hall et al. 2005a; Trinidad et al. 2010), Proteine (Weiße et al. 2009; Madar und Stark 2002) und thermolabile Stoffe (wie Saponine) (Frühbeck et al. 1997; Shi et al. 2004) sein. Auch Phytosterine oder Phytinsäure könnten dafür ursächlich sein (vgl. Kap. 3.3.5 und 3.3.6). Es besteht also in diesem Bereich noch Forschungsbedarf, da insgesamt zu wenige Studien für die einzelnen Stoffe und deren Interaktionen vorliegen.

4.10 Wirkungen auf das Herz-Kreislauf-System

Zu den häufigsten Todesursachen in den westlichen Industrienationen werden Herzinfarkt und Schlaganfall gezählt. Zu den Risikofaktoren für kardiovaskuläre Erkrankungen zählen dabei Nikotinabusus, Übergewicht, Diabetes, arterielle Hypertonie und ein ungünstiges Verhältnis von LDL zu HDL.

Verschiedene Tier-und Humanstudien konnten beim Einsatz einheimischer Körnerleguminosen Senkungen von Cholesterin feststellen. Diese Wirkungen beschränkten sich beim Menschen meist auf LDL- und Gesamt-Cholesterin (siehe Kap. 4.9). Die Cholesterinsenkungen deuten auf das gesundheitliche Potenzial von Ackerbohne, Erbse und Lupine hin das Risiko kardiovaskulärer Erkrankungen zu reduzieren. Hauptverantwortlich scheinen vor allem die enthaltenen Proteine zu sein (Weiße et al. 2009; Madar und Stark 2002; Wang und McIntosh 1996).

4.10.1 Atherogenese

Atherosklerose ist hauptverantwortlich für kardiovaskuläre Erkrankungen. Ihre Bildung, die sog. Atherogenese, wird häufig durch Ungleichmäßigkeiten der Lipoproteine ausgelöst. Zu

diesen Imbalanzen trägt auch ein regelmäßig hoher Gehalt gesättigter FS der Nahrung bei.
Es gibt eine Tierstudie, die sich mit der Wirkung von Lupinen auf die Fettsäurekomposition in Muskel und perirenalem Fett beschäftigt (Volek und Marounek 2011). Man stellte fest, dass Lupinen bei regelmäßigem Verzehr über 42 Tage SFA- und PUFA-Gehalte bei Hasen stark senkten, wohingegen die MUFA deutlich gesteigert wurden. Verantwortlich dafür ist wahrscheinlich das ähnlich günstige Fettsäuremuster der Lupinen (hoher MUFA-Gehalt, geringer Gehalt an SFA und PUFA). Eine Interaktion mit Lupinenprotein und anderen Bestandteilen des Futters ist eher unwahrscheinlich, kann aber in dieser Studie nicht ausgeschlossen werden. Das Ergebnis ist ein Hinweis für die mögliche Reduzierung des Atheroskleroserisikos durch Lupinenfett, da mit dessen Aufnahme die gleichzeitige Zufuhr gesättigter Fettsäuren wahrscheinlich gesenkt werden kann. Eine ähnliche Studie untersuchte die Wirkung von Erbse und Ackerbohne (je 24% Anteil am Futter mit ca. 20% Protein i. Tr.) auf die intramuskuläre Fettsäurekomposition bei Lämmern (Scerra et al. 2011). Ackerbohnenkost enthielt mehr Stearin- (C18:0) und Palmitinsäure (C16:0) als das Erbsenfutter. Dieses besaß dafür mehr Linol- (C18:2) und Linolensäure (C18:3, ω-3). Nach 100 Tagen konnte auch hier eine positive Veränderung des Fettsäuremusters festgestellt werden. Nach Erbsengabe zeigte das Fleisch einen höheren Gehalt an essentiellen FS und Linolensäure sowie an Arachidonsäure (C20:4, ω-6) und EPA (C20:5, ω-3) als nach Ackerbohnengabe. Auch der Gesamtgehalt an ω-3-FS war nach Erbsenkost höher und die ω-6/ω-3 Ratio war günstiger. Erbsen können das Fettsäuremuster gegenüber Ackerbohnen positiver beeinflussen. Rückschlüsse auf verantwortlicher Stoffe ist ähnlich der von Volek und Marounek (2011). Inwieweit diese Wirkung auch auf den Menschen zutrifft muss noch geklärt werden, da der Mensch als Monogastrier die Fähigkeit zur Fetthärtung nicht besitzt.
Zwei andere Tierstudien befassten sich mit den Wirkungen von Lupinenprotein auf die Atherogenese (Weiße 2009; Weisse et al. 2010). Blutlipidsenkende Wirkungen wurden nicht festgestellt. Trotzdem wurde gezeigt, dass die Entwicklung von Atherosklerose durch 100 g/kg Lupinenprotein positiv beeinflusst werden konnte. Kalzifizierungen von Läsionen wurden zu 50 (Weisse et al. 2010) bzw. 57% (Weiße 2009) reduziert. Dabei wird angenommen, dass Peptide oder einzelne Aminosäuren (z.B. Cystein), die bei der Verdauung aus den Proteinen freigesetzt werden, dafür verantwortlich sein können. Der Mechanismus dafür ist noch unklar. Allerdings scheint der lipidsenkende Effekt keine Rolle dabei zu spielen (Weiße 2009). Dieser Sachverhalt sollte in weiteren Studien erforscht werden.
Adiponektin besitzt antiatherogene Eigenschaften. Für Phenole aus Zuckerschoten und anderen Hülsenfrüchten konnte *in vitro* eine Stimulation der Adiponektinproduktion und Inhibierung der TNFα-Produktion festgestellt werden (Okada et al. 2010) (siehe Kap. 4.2). Bei Bestätigung dieses Hinweises (auch für einheimische Hülsenfrüchte) könnten Hülsenfruchtphenole zukünftig bei der Prävention von kardiovaskulären Erkrankungen eingesetzt werden.

4.10.2 Blutdruck

Die Inhaltsstoffe von Hülsenfrüchten können eventuell die Höhe des Blutdrucks günstig beeinflussen, z.B. um das Risiko kardiovaskulärer Erkrankungen zu senken. Hermsdorff et al. (2011) fanden in ihrer Ernährungsstudie mit 30 übergewichtigen Personen unter anderem heraus, dass eine hypokalorische Kost (30% Energie weniger pro Tag) auf Hülsenfruchtbasis (vier Hülsenfruchtgerichte je Woche) den systolischen Blutdruck verbesserte (um 9 mmHg). Die Verbesserung erfolgte unabhängig vom erreichten Gewichtsverlust. Die Kontrollkost ohne Hülsenfrüchte senkte den Blutdruck nicht wesentlich. Verwendet wurden Linsen, Kichererbsen, Erbsen und Bohnen. Insgesamt konnte die Studie die spanische Verzehrsempfehlung für Hülsenfrüchte bestätigen, auch erweist sich die Studiendauer von acht Wochen als hoch gegenüber anderen betrachteten Studien dieser Arbeit. Jedoch war sie nicht verblindet und wegen der selbstständigen Lebensmittelauswahl durch die Probanden kann keine Aussage über Wechselwirkungen der Hülsenfrüchte mit anderen Lebensmitteln gemacht werden.

4.10.3 Thrombose

Thrombose beschreibt die Blutgerinnung in einem Gefäß oder einer Herzhöhle unter Entstehung eines Blutgerinnsels (Thrombus). Sie kann verschiedene Ursachen haben, z.B. eine Hypercholesterinämie. In einer Studie an jungen Kaninchen von Volek und Marounek (2011) wurde der günstige Einfluss von Futter aus weißen Lupinen auf das Fettsäuremuster von Hinterlauffleisch und perirenalem Fett gezeigt. Das Lupinenfutter führte zu einer starken Senkung von SFA, PUFA, dem Verhältnis von PUFA ω-6 zu PUFA ω-3, sowie von Sättigungs-, atherogenen und thrombogenen Indizes im Fleisch im Vergleich zum Futter aus Sonnenblumen der Kontrollgruppe. Da niedrige SFA-Gehalte oder ein niedriges Verhältnis von PUFA ω-6 zu PUFA ω-3 die Bildung von Thromboxan A2 erschwert und die Produktion von Prostacyclin PGI2 ermöglicht, sinkt das Thromboserisiko (Volek und Marounek 2011). Diese Effekte sind eventuell nicht allein auf das Fettsäuremuster der Lupine zurückzuführen, da im Futter, neben anderen Stoffen, die kompletten Samen verwendet wurden. Diese Studie war zur Verbesserung von Kaninchenfleisch für den Menschen gedacht. Durch weitere Forschung in diesem Bereich sollte festgestellt werden, ob diese Effekte möglicherweise auch direkt durch den Lupinenverzehr beim Menschen auftreten würden.

4.11 Wirkungen auf die Bioverfügbarkeit

Die Bioverfügbarkeit beschreibt das Ausmaß und die Geschwindigkeit, mit der Stoffe vom Organismus absorbiert werden.

Saponine scheinen nicht nur die Bioverfügbarkeit anderer Stoffe beeinflussen zu können (siehe Kap. 3.3.9). Ihre eigene Verfügbarkeit scheint auch begrenzt zu sein (Shi et al. 2004).

Weder B-Sojasaponine noch ihre Abbauprodukte konnten im 24-h Urin von Frauen nachgewiesen werden. Dagegen konnte ihr Hauptmetabolit Sojasapogenol B im 5-Tage Fäzes festgestellt werden. Dies deutet auf eine niedrige Saponinbioverfügbarkeit beim Menschen und auf eine Verstoffwechselung durch Darmbakterien hin (Hu et al. 2004). Da das Sojasaponin I der B-Sojasaponine auch Haupt-Triperpen-Saponin in Erbse und Ackerbohne ist (Kinjo et al. 1998), könnte hier eine ähnliche Bioverfügbarkeit vorliegen. Inwieweit die Metabolisierung durch Darmbakterien für den Menschen Folgen hat, sollte noch erforscht werden.

Der Verzehr von Ackerbohnen senkt die Mineralstoffabsorption (vor allem Zn, Mn, Fe) im Darm. Dies konnte an Ratten gezeigt werden (Madar und Stark 2002; Rubio et al. 1994). Rubio et al. (2004) stellten fest, dass scheinbar hauptsächlich unlösliche Nicht-Stärke-Polysaccharide der Ackerbohne für die verminderte Zinkabsorption (um 50 bis 70%) verantwortlich waren. Phytinsäure senkte die Zinkabsorption nur um 8%. Dies widerspricht der allgemeinen Auffassung, dass Phytinsäure der Hauptfaktor für eine geringe Zinkabsorption ist (Rubio et al. 1994). Nach Meinung der Autoren könnte der hohe Uronsäuregehalt der NSP für die Wirkung mitverantwortlich sein. Die Samenhüllen der verwendeten Bohnen zeigten keinen Einfluss auf die Zinkabsorption, reduzierten aber die Eisenabsorption. Beim Vergleich verschiedener Hülsenfrüchte zeigten Grüne Erbsen *in vitro* eine mittlere Eisen- und Zinkverfügbarkeit, aber eine hohe Verfügbarkeit für Calcium (Trinidad et al. 2010). Die Mineralstoffverfügbarkeit könnte dabei vom Mineralstoffgehalt, von Interaktionen der Mineralstoffe untereinander und vom Gehalt an Phytinsäure und Tanninen abhängig sein. Die Eisenverfügbarkeit war bei hohem Tanninsäuregehalt gesenkt. Auch in dieser Studie wurde keine Abhängigkeit der Zinkverfügbarkeit vom Phytinsäuregehalt festgestellt, außer für Erdnüsse.

4.12 Wirkungen auf Sättigung und Energieaufnahme

Übergewicht und Fettleibigkeit stellen in der heutigen Gesellschaft ein Problem dar, häufig verursacht durch eine langfristig zu hohe Energieaufnahme. Da die Sättigung eine Regulierung der zugeführten Nahrungsmenge darstellt, hat sie indirekt auch einen Einfluss auf die damit zugeführte Energiemenge. Sättigende und energiezufuhr-senkende Wirkungen sind bereits für Hülsenfruchtballaststoffe und -proteine beschrieben worden (Champ 2002; Hall et al. 2005b). Dadurch könnte langfristig das Körpergewicht positiv beeinflusst werden.

Bei Gabe von alkaloidarmen Lupinensamen wurde bei Hühnern eine verringerte Futteraufnahme festgestellt (Olkowski et al. 2001). Diese Wirkung wurde auch bei Bitterlupinensamen gezeigt, wobei eine positive Korrelation zur Samenmenge bestand (Viveros et al. 2007). Damit könnte indirekt eine Erhöhung der Sättigung bzw. eine Abnahme des Appetits verbunden gewesen sein. Mit der verminderten Futteraufnahme kam es jeweils zu einer reduzierten Energieaufnahme, die bei Hühnern unerwünscht ist. Beim Menschen

könnte diese Eigenschaft von Vorteil sein, allerdings konnte in beiden Studien keine genaue Aussage über den verantwortlichen Stoff gemacht werden. So könnten sowohl Alkaloide, Ballaststoffe und Eiweiße als auch Tannine, Protease-Inhibitoren oder Saponine dafür verantwortlich sein.

Aus vier Humanstudien gingen unterschiedliche Aussagen über die sättigende bzw. energiezufuhr-reduzierende Wirkung von Lupineneiweiß und Lupinenballaststoffen hervor. Eine randomisierte, zweifach-verblindete, placebo-kontrollierte, parallel laufende Humanstudie an 56 hypercholesterinämischen Personen konnte für Lupinenprotein (35 g täglich über 6 Wochen) gegenüber Casein eine sehr geringe Gewichtsabnahme (140 g) beobachten (Weiße et al. 2009). Dies deutet auf eine leicht reduzierte Energieaufnahme hin. Diese muss aber nicht durch das aufgenommene Lupinenprotein erfolgt sein. Um zu klären, ob Lupinenprotein für die geringere Energieaufnahme verantwortlich ist, ist weitere Forschung nötig. Andererseits stellten Lee et al. (2006) fest, dass mit *Lupinenkernelmehl* (reich an Protein und Ballaststoffen) angereichertes Brot die akute Energieaufnahme senken konnte. Dieser Effekt betraf nicht nur die aktuelle Mahlzeit, sondern setzte sich bei der darauffolgenden Mahlzeit (20% Energie weniger) fort. Bei Aufnahme des angereicherten Brotes erhöhte sich auch die eingeschätzte Sättigung der Probanden stark gegenüber deren selbst eingeschätzter Sättigung für Weißbrot. Dies korrelierte mit den gemessenen Senkungen des orexigenen Hormons Ghrelin. Dagegen zeigte Weißbrot mit *Australischem Süßlupinenmehl* keinen Einfluss auf Sättigung und Akzeptanz (Hall et al. 2005b). Allerdings konnte hier vielleicht kein Einfluss gefunden werden, da nur einmal ein Frühstück mit diesem Brot verzehrt wurde. Ein Effekt stellt sich vielleicht erst bei regelmäßigem Verzehr ein oder es ist ein anderer Stoff für die sättigende Wirkung verantwortlich. Hall et al. (2005a) konnten die Annahme einer guten sättigenden Wirkung von *Lupin kernel fibre* in ihrer Studie an 38 Männern bei Zusatz von 17 bis 30 g/Tag nicht bestätigen. Allerdings gaben sie an, dass die Sättigung durch *Lupin kernel fibre* in diätetischen Langzeitstudien noch besser untersucht werden sollte.

4.13 Wirkungen auf das Verdauungssystem

Um die mit den Hülsenfrüchten zugeführten Nährstoffe für den Metabolismus nutzbar machen zu können, müssen diese vor ihrer Absorption im Dünndarm verdaut werden. Dazu sind unter anderem Trypsin, α-Amylase und Lipase notwendig. Allerdings können neben Ballaststoffen, Tanninen, Saponinen und anderen sekundären Pflanzenstoffen auch Proteine die Verdauungsaktivität und Bioverfügbarkeit beeinflussen.

Drei Tierstudien untersuchten den Einfluss von Proanthocyanidinen bzw. Tanninen der Ackerbohne auf die Verdauungsaktivität bei Hühnern (Longstaff und McNab 1991a; Longstaff und McNab 1991b; Yuste et al. 1992). Dabei wurden Mengen zwischen 20 und 400 g Schalen/kg eingesetzt. Es wurde beobachtet, dass geringe Mengen (20 und 50 g Schale/kg) die

Darmlipaseaktivität erhöhen konnten. Hohe Tanningehalte inhibierten dagegen sowohl Trypsin (bis zu 62%), α-Amylase (bis zu 81%) und Lipase (bis zu 32%) im Jejunum (Longstaff und McNab 1991a; Yuste et al. 1992). Dieses Ergebnis spiegelte sich auch in der reduzierten Verdauung der einzelnen Nährstoffe wieder. Am stärksten betroffen war dabei der Proteinverdau, gefolgt von Stärke- und Lipidverdau. Im Pankreas gab es keine Erhöhung der Enzymaktivität (Longstaff und McNab 1991a). Es konnte gezeigt werden, dass Tannine indirekt über die Inhibierung von Verdauungsenzymen durch Bildung von Tannin-Enzym-Komplexen Einfluss auf die Nährstoffverdauung haben. Protease-Inhibitoren der Ackerbohne zeigten im Tier eine ähnliche Beeinflussung von Verdauungsenzymen (Chymotrypsin und Trypsin). Sie waren für diese Wirkung offensichtlich nicht allein verantwortlich, da die Kontrolle mit zugesetzten Protease-Inhibitoren (die bis fünfmal mehr zugesetzt waren) nicht den gleichen Einfluss erzielte wie die rohen Bohnen (Abbey et al. 1979). Behandlung (hydrothermal und Extrusion) von Erbsen erhöhten *in vitro* und bei Ratten die Protein- und Stärkeverdaulichkeit. Die Proteinverdaulichkeit lag unter der Casein-Kontrolle (Alonso et al. 2000; Urbano et al. 2003). Durch Extrusion wurde die Menge freier Zucker erhöht. Dagegen wurden Methionin- und Cysteingehalte um jeweils 34 und 61% gesenkt (Alonso et al. 2000). Es wurde gezeigt, dass die Art der Behandlung auch einen Einfluss auf die mengenmäßige Senkung von Protease-Inhibitoren, Lektinen, Polyphenolen, Tanninen und Phytinsäure hat. Hydrothermale Behandlung konnte die Gehalte von α-Galaktosiden, Trypsin-Inhibitoren und Phytinsäure um mehr als 70% senken, reduzierte aber auch die Verfügbarkeit von Vitamin B_1 (40%) und B_2 (70%) sehr stark (Urbano et al. 2003). Keimung der Erbsen konnte dagegen den Vitamin B_2-Gehalt stark erhöhen (Urbano et al. 2005). Aus den Tierstudien lässt sich schlussfolgern, dass neben Tanninen und Protease-Inhibitoren auch andere Ackerbohnen- und Erbseninhaltsstoffe, wie Ballaststoffe (Longstaff und McNab 1991a) an der Verdauungs-reduzierung beteiligt sind müssten (Yuste et al. 1992; Abbey et al. 1979), da auch ihre Entfernung durch Verarbeitung einen positiven Effekt hatte (Alonso et al. 2000; Urbano et al. 2003). Weiße (2009) konnte bei Ratten keine unterschiedliche Wachstumsentwicklung und N-Ausscheidung zwischen mit caseingefütterten Ratten und lupinenproteingefütterten Ratten feststellen. Dies deutet auf eine ähnliche Verdaulichkeit und biologische Wertigkeit beider Proteine hin.

Um zukünftig eventuell Babynahrung ohne Soja herstellen zu können wurde eine Studie mit 20 jungen Frauen zur Fe-Absorption aus experimentell hergestellter Babynahrung auf Basis von Erbsenprotein-Isolaten durchgeführt. Dabei wurde auch die Wirkung von Phytinsäure und Ascorbinsäure berücksichtigt (Davidsson et al. 2001). Dabei hatte der enzymatische Phytinsäureabbau einen stärker steigernden Effekt (13,6%) auf die Eisenabsorption als die Verdopplung des Ascorbinsäuregehalts (8,7%). Die Fe-Absorption bei phytinsäurefreiem Erbseneiweiß war scheinbar besser als bei phytinsäurefreiem Sojaeiweiß. Die Autoren

schlussfolgerten, dass das Ausmaß der Fe-Absorption von erbsenspezifischen Eiweißen abhängen könnte, da bereits ähnliche Hinweise für Soja vorliegen. Mariotti et al. (2001) stellten in einer anderen Humanstudie fest, dass Albumin die Bioverfügbarkeit von Erbsenprotein senkte (um 4% gegenüber der Kontrollgruppe mit Erbsenglobulin). Akute endogene N-Verluste wurden durch Albumin nicht gefördert und der postprandiale biologische Wert von Erbsenprotein wurde nicht stark verbessert (trotz Mangelausgleich an schwefelhaltigen Aminosäuren). Die Autoren meinen, dass Erbsenprotein (mit und ohne Albumin) bei gesunden Menschen vergleichbaren nutritiven Wert wie Sojaprotein hat.

Laut den vorliegenden Studien besteht noch Forschungsbedarf, vor allem am Menschen. Außerdem sollte mehr Augenmerk auf die Interaktionen zwischen den einzelnen Hülsenfruchtbestandteilen gelegt werden. Die beschriebenen Effekte könnten für den Menschen positive und negative Auswirkungen haben. Eine geringe Stärkeabsorption und damit ein geringerer Blutglucose- und Insulinanstieg könnten für die Behandlung von Diabetes mellitus Typ 2 günstig sein. Außerdem könnte die Gewichtsregulierung positiv beeinflusst werden. Andererseits könnte bei mangelernährten Menschen die Versorgung mit wichtigen Stoffen, z.B. Eisen und essentiellen Aminosäuren noch weiter sinken.

4.14 Wirkungen auf die Darmflora

Bestandteile unserer Nahrung haben Einfluss auf die Darmflora. Dabei dienen für den Menschen unverdauliche Nahrungsbestandteile den Bakterien als Nahrung, sog. Präbiotika.

In einer Studie mit α-Galaktosiden von Erbse und Lupine konnten Einflüsse auf Anzahl und Biomasse von Bifidobakterien und coliformen Bakterien im Rattendarm beobachtet werden. Dabei erhöhten beide die Menge verschiedener Bifidobakterienstämmen und senkten coliforme Bakterien. Gleichzeitig sank die Bildung von Gasen (Gulewicz et al. 2002). Bounhik et al. (2004) und da S. Queiroz-Monici et al. (2005) konnten dieses Ergebnis bestätigen. Leider sind in der vorliegenden Tierstudie keine Angaben über die Anzahl der Versuchstiere gemacht worden, um die Repräsentativität der Ergebnisse zu zeigen. Auch *Lupin kernel fibre* zeigte in einer Interventionsstudie über 84 Tage mit 18 gesunden Männern (*crossover*-Design, randomisiert, Washout-Phase) einen Anstieg von Bifidobakterien und eine Senkung von Clostridien im Stuhl. Bei anderen Bakterienstämmen (wie Laktobazillen) wurden keine bemerkenswerten Änderungen festgestellt (Smith et al. 2006). Limitierungen dieser Studie waren: zu wenig Probanden, nur Männer, keine Analyse zur Art der Ballaststoffe und eine nicht feststellbare Dosisabhängigkeit.

Eventuell können auch Sojasaponine die Darmflora beeinflussen. Hu et al. (2004) zeigten, dass Gruppe-B-Sojasaponine aus Soja nicht über Fäzes und Urin ausgeschieden werden. Sojasapogenin B wurde dagegen ausgeschieden. Deshalb besteht die Annahme, dass Sojasaponine als Nahrung für Bakterien dienen. Vielleicht beeinflussen sie dadurch auch die

Zusammensetzung der Darmflora. Da diese Saponine auch in Erbse und Ackerbohne entdeckt wurden (Kinjo et al. 1998), könnten sie ähnliche Wirkungen beim Menschen zeigen.

4.15 Toxische Wirkungen

Giftige Wirkungen von Stoffen können sich sehr unterschiedlich äußern. Sie sind in jedem Falle dosisabhängig und können Gesundheitsschäden hervorrufen (Pschyrembel 2004). Dazu können auch membranolytische (Shi et al. 2004) und die hämolytischen Eigenschaften von Favismus-Substanzen gezählt werden (vgl. Kap. 3.3.3 und Kap. 6.2).

Lupinensamen mit und ohne Alkaloide führten bei Hühnern zu akuten und chronischen Toxizitätssymptomen (Olkowski et al. 2001) sowie Wachstumseinschränkungen (Viveros et al. 2007). Es wurde eine Dosisabhängigkeit festgestellt. Man stellte außerdem eine Cytochrom P-450-Erhöhung in den Lebermikrosomen der Hühner fest (Olkowski et al. 2001). Das deutet auf einen systemischen Effekt der Lupinen hin. Allgemein wirken einige Alkaloide toxischer als andere, z.B. Spartein und Lupanin. Diese können in Süßlupinen in größeren Mengen vorkommen als in Bitterlupinen (Plarre 1999). Trotzdem sind die Süßlupinen in der Ernährung zu bevorzugen, da ihr Gesamtalkaloidgehalt wesentlich niedriger ist (vgl. Kap. 3.3.1). Man hat festgestellt, dass Vergiftungssymptome ab 0,2% Gesamtalkaloidgehalt der Nahrung auftreten. Es können Krämpfe und im schwersten Fall Herzstillstände auftreten (Plarre 1999).

Die α-Galaktoside aus *L. angustifolius* und *P. sativum* sind für den Menschen wahrscheinlich nicht giftig. Für Mäuse liegt die akute Toxizität bei >4 g/kg KG. Mausthymozyten reagierten nicht cytotoxisch (Gulewicz et al. 2002). Allerdings fehlen noch Untersuchungen am Menschen. Auch Sojasaponin I der Sojabohne zeigte im humanen Darmkrebs Caco-2 Intestinalzell-Modell keine cytotoxische Aktivität (bis 3 mmol/l). Dagegen war für sein Abbauprodukt Sojasapogenol B schon bei 1 mmol/l eine stark eingeschränkte Überlebensfähigkeit der Zellen erkennbar (Hu et al. 2004). Es sollte überprüft werden, ob die cytotoxische Wirkung auf Krebszellen beschränkt ist. Da Sojasaponin I auch in Ackerbohnen und Erbsen entdeckt worden ist (Kinjo et al. 1998), könnte ihr Einfluss ähnlich sein.

Bei Hühnern könnte die verminderte Nahrungsaufnahme bei tanninreicher Kost (bis 400 g Schalen / kg) aus Schalen von Ackerbohnensamen ein Hinweis auf toxische Wirkungen der Tannine sein. Auf alle Fälle wurden Nahrungsaufnahme, -absorption und Verdauungsenzyme negativ beeinflusst (Longstaff und McNab 1991a; Longstaff und McNab 1991b). Für gekochte und extruierte Erbsen konnten dagegen keine nachteiligen bis toxischen Wirkungen beim Tier festgestellt werden (Wang und McIntosh 1996; Alonso et al. 2000).

Insgesamt ist noch viel Forschung im Hinblick auf die einzelnen Hülsenfrüchte nötig. Die vorliegenden Daten beruhen nur auf *in vitro*- oder Tierstudien, bei denen teilweise sehr hohe Konzentrationen einzelner Stoffe eingesetzt wurden, sehr geringe Studienzeiten angesetzt waren oder zu wenig Tiere untersucht wurden.

5 Wirkmechanismen

Um zu verstehen, warum die in Kap. 4 beschriebenen Wirkungen nach dem Verzehr von Ackerbohnen, Erbsen und Lupinen auftreten können, versucht man die Mechanismen ausfindig zu machen, die für die einzelnen Wirkungen verantwortlich sind. Vielfach wird hier nur spekuliert, da meist noch nicht genügend Erkenntnisse vorliegen. Das gilt z.B. für den blutzuckersenkenden Mechanismus von Lektinen. Dieser beruht möglicherweise auf dem Binden der Lektine an intestinale Mucosazellen und gleichzeitiger Beeinträchtigung der Glukoseabsorption (Champ 2002). Auch der Weg, über welchen Phenolextrakte TNFα beeinflussen können, ist noch nicht sicher geklärt. Er könnte aber auf einem Mechanismus beruhen, der *in vitro* (durch FS oder Flavonoide) aufgetreten ist (Okada et al. 2010, S. 231)

5.1 Antiadhäsive Wirkmechanismen

Die antiadhäsive Wirkung von Erbsenpeptiden und -proteinfraktionen gegenüber *H. pylori* (vgl. Kap. 4.4) beruht auf deren Interaktion mit spezifischen Adhäsinen (BabA und teilweise SabA, HpaA) des Bakteriums. Sie verhindern so die Anheftung des Bakteriums über dessen Adhäsine an der Magenschleimhaut. Dafür verantwortlich sind wahrscheinlich sowohl die Faltung der Peptide als auch eine Sequenz von elf Aminosäuren, die eventuell für die Ausbildung reaktionsfähiger dreidimensionaler Strukturen nötig ist (Niehues et al. 2010). Die Autoren schlussfolgern, dass bioaktive Peptide der Erbse als funktionelle Inhaltsstoffe angewandt werden könnten, um z.B. Babys und Kinder vor Infektionen mit *H. pylori* zu schützen.

5.2 Antifungale Wirkmechanismen

Wie bereits beschrieben, können Protease-Inhibitoren der Ackerbohne antifungale Eigenschaften besitzen (vgl. Kap. 4.4). Der Trypsin-Inhibitor VFTI-E1 induziert dafür Veränderungen der hyphalen Morphologie des Pilzes *Valsa mali*. Er inhibiert dessen Wachstum durch Chitinablagerungen an den Hyphenspitzen, erhöht die Permeabilität der Pilzmembran und dringt anschließend in deren Cytoplasmamembran ein. Diese Fähigkeit wird durch die Anwesenheit von NaCl, $CaCl_2$ oder $MgCl_2$ beeinträchtigt (Fang et al. 2010). Es ist denkbar, dass andere Protease-Inhibitoren durch einen ähnlichen Mechanismus wirken. Das ist aber bisher nicht untersucht worden.

Saponine bilden für ihre antifungale Wirkung schwerlösliche Komplexe mit Sterinen der Pilzzellwand (Carle 2010).

5.3 Antikanzerogene Wirkmechanismen

Zur Erklärung der antikanzerogenen Wirkung von Saponinen sind verschiedene Mechanismen im Gespräch. Dazu zählen der antioxidative Effekt auf Cholesterin, direkt

toxische Wirkungen auf Krebszellen, die Bindung von Gallensäuren und dadurch Regulation der epithelialen Darmzellproliferation, Modulation des Immunsystems und Effekte auf den Sterolmetabolismus (Shi et al. 2004). Metastasierungsinhibierung könnte teilweise auf der Hemmung von Sialyltransferase beruhen. Zumindest wurde durch Sojasaponin I die Expression von α-2,3-verknüpfter Sialsäure auf der Zelloberfläche reduziert. Das wiederum hemmte die Metastasierung von Melanomzellen. Außerdem gibt es Hinweise, dass Saponine verschiedene Apoptose-Enzyme regulieren können (Rochfort und Panozzo 2007).

Man nimmt an, dass Isoflavone den Tod von Krebszellen über ERβ, Aktivierung verschiedener Apoptosewege und durch Down-Regulierung der zum Überleben der Krebszellen nötigen Enzyme (z.B. NF-κB) fördern (Rochfort und Panozzo 2007).

Für Protease-Inhibitoren werden verschiedene Mechanismen diskutiert. Wahrscheinlich hängt ihre antifungale Wirkung mit der Spezifität ihrer protease-bindenden Domäne zusammen, für Chymotrypsin (Clemente et al. 2005).

5.4 Antioxidative Wirkmechanismen

Es wurde gezeigt, dass Peptide aus Erbensprotein gute antioxidative Eigenschaften besitzen (siehe Kap. 4.5). Dabei werden scheinbar sowohl freie Radikale abgefangen als auch instabile Stoffe durch Reduzierung stabilisiert. Diese Fähigkeiten scheinen vom jeweiligen Gehalt an hydrophoben und aromatischen Aminosäuren und deren spezifischer Interaktion mit einzelnen Radikalen abhängig zu sein (Pownall et al. 2010). Untersuchungen an Mäusen haben gezeigt, dass die antioxidativen Eigenschaften der Saponine für die antikarzinogenen Wirkungen verantwortlich sind. Die Saponine binden dabei z.B. an Cholesterin, Gallensäuren oder Lipide und schützen sie so vor Oxidation. (Shi et al. 2004).

Bei Okada et al. (2010) bleibt die Frage nach den Wirkmechanismen für phenolhaltige Samenextrakte offen.

5.5 Blutzucker- und insulinbeeinflussende Wirkmechanismen

Die Steigerung der Adiponektin-Produktion und die erhöhte Translokation von GLUT4 in Maus-Adipozyten (Okada et al. 2010) lässt auf einen möglichen Mechanismus zur Prävention und Behandlung von Diabetes mellitus Typ 2 durch Polyphenole aus Hülsenfrüchten schließen; eventuell durch die für das Stilben *hydrangeic acid* beschriebene Erhöhung der mRNA-Spiegel von Adiponektin, PPARγ2, GLUT4 und aP2. Dies muss allerdings weiter erforscht werden.

Für insulinbeeinflussende Mechanismen durch Proteine oder Ballaststoffe aus Hülsenfrüchten gibt es erste Hinweise. Es wird beschrieben, dass γ-Conglutin Muskelmetabolismus und Proteinsynthese über *protein synthetic pathway*-Kinasen, erhöhte GLUT4-Translokation und muskelspezifische Gentranskription regulieren (Terruzzi et al. 2011). Die insulinsenkende

Wirkung von Lupinenalkaloiden konnte teilweise der Blockierung von β-Zell-Plasmamembran K_{ATP}-sensitiven Kanälen zugeschrieben werden (García López et al. 2004)

5.6 Lipidsenkende Wirkmechanismen

Die cholesterinsenkenden Effekte durch Saponine scheinen auf unterschiedlichen Mechanismen zu beruhen. 1) Viele Saponine bilden nichtabsorbierbare Komplexe mit Cholesterin und hemmen so dessen Absorption aus dem Dünndarm, 2) LDL-Senkung durch Interaktion von Saponinen und Casein über β-Casein, 3) Komplexierung von Gallensäuren im Dünndarm hemmt deren Reabsorption und fördert Gallensäureneubildung aus Cholesterin in der Leber (Shi et al. 2004; Champ 2002; Carle 2010) und 4) Gallensäuresekretionssenkung durch einige Saponine und dadurch indirekte Cholesterinsenkung (Rochfort und Panozzo 2007). Martins et al. (2004) kamen zu dem Schluss, dass die Plasmacholesterinsenkung bei Gabe roher Erbsen durch 1) eine höhere Gallensäureausscheidung wegen unverdaulicher Erbseninhaltsstoffe (z.B. Saponine, resistente Stärke, Ballaststoffe) und 2) einen erhöhten Gallensäurepool infolge eines erhöhten LDL-Katabolismus (da mehr LDL-Rezeptoren in der Leber beobachtet) verursacht worden sein könnte. Die lipidsenkende Wirkung von Lupinenprotein scheint mit dessen Gehalt von Arginin, Lysin und Cystein in Verbindung zu stehen. Für hohe Arginin/Lysin Ratios wird beispielsweise eine vermehrte Expression von SR-B1 beschrieben und dadurch eine erhöhte Aufnahme von HDL-Partikeln in die Leber (Weiße 2009). Lupinenballaststoffe könnten eventuell durch ihre hohe Wasserbindungskapazität die Cholesterinabsorption und den enterohepatischen Kreislauf beeinflussen(Hall et al. 2005a).

5.7 Bioverfügbarkeitsbeeinflussende Wirkmechanismen

Phytate können wie bereits in Kap. 3.3.5 und Kap. 4.11 beschrieben durch Chelatierung mehrwertiger Metallionen (Zn, Fe und Ca) die Mineralstoffverfügbarkeit aus Hülsenfrüchten reduzieren (Rubio et al. 1994; Trinidad et al. 2010; Urbano et al. 2003). Die Bindung von Mineralstoffen durch unlösliche NSP der Zellwände scheint von deren Gehalt an Uronsäure und anderen sauren Rückständen abhängig zu sein (Rubio et al. 1994).

Shi et al. (2004) geben an, dass auch Saponin-3-β-HydroxysteroidKomplexe unlösliche Komplexe mit Metallionen bilden können (Shi et al. 2004).

5.8 Sättigende Wirkmechanismen

Ghrelin ist ein orexigenes Hormon. Es wirkt im Hypothalamus über Bindung an GHS-Rezeptor, verursacht Hunger und sinkt nach Nahrungsaufnahme. Es gibt Hinweise, dass Ballaststoffe und Proteine seine postprandiale Plasmakonzentration beeinflussen können. Einen Beweis dafür entdeckten Lee et al. (2006). Sie beobachteten nach mit Lupinenkernel-

mehl angereichertem Frühstück eine wesentlich stärkere Senkung der Plasmaghrelin-konzentration als nach Frühstück mit Weizenmehl. Die Autoren gehen davon aus, dass dies der Grund für die gute sättigende Wirkung von Lupinenkernelmehl ist (Kap. 4.12). Es sind aber weitere Studien nötig, mit mehr Probanden und über längere Zeiträume. Es sollte auch untersucht werden, ob die beiden Stoffe unabhängig voneinander ähnliche Effekte erzielen oder ob die Interaktion zwischen beiden entscheidend ist. Dann könnten Lupinen eventuell als natürlicher Sättigungsregulator eingesetzt werden.

Die bei Schafen durch Lupinenfütterung (150 bis 750 g/Tag) festgestellte Erhöhung der Ovulationsrate war mit einem stark erhöhten Leptinspiegel verbunden, wahrscheinlich ausgelöst durch gleichzeitig festgestellte hohe Spiegel von Blutglukose und glykogenen Aminosäuren. Leptin besitzt bei weiblichen Schafen sowohl stimulierende als auch inhibierende Effekte in Bezug auf die Fruchtbarkeit (Kosior-Korzecka und Bobowiec 2003). Es könnte sich aber durchaus auch um einen Sättigungsmechanismus durch Lupinen handeln, welcher gleichzeitig Einfluss auf die Ovulation nehmen kann.

5.9 Darmgesundheitsfördernde Wirkmechanismen

Es ist sowohl für Ballaststoffe, resistente Stärke als auch für α-Galaktoside eine Beeinflussung der Darmbakterien beschrieben worden (siehe Kap. 4.14). Grund für die Nichtverdauung von α-Galaktosiden ist ein Mangel an α-Galaktosidase im Dünndarm (Rochfort und Panozzo 2007). Die unverdaulichen Stoffe werden im Dickdarm von verschiedenen Bakterien (z.B. Laktobazillen, Bifidobakterien) als Nahrungssubstrat genutzt. Bifidobakterien bilden aus α-Galaktosiden kurzkettige FS und hemmen durch die folgende pH-Wert-Absenkung das Wachstum exogener pathogener Keime. Es ist belegt, dass sie keine Gase aus Oligosacchariden produzieren (Gulewicz et al. 2002). Der Einsatz von α-Galaktosiden als Präbiotika sollte aber noch weiter erforscht werden. Andere Bakterien bilden neben kurzkettigen FS auch Methan, H2 und CO2 . Die letzteren sind für die bekannten Blähungen und Flatulenzen verantwortlich. Die kurzkettigen Fettsäuren (Butyrat, Propionat, Acetat) werden außerdem von Colonozyten des Dickdarms genutzt. Sie erhöhen so den Blutfluss, senken den luminalen pH-Wert und helfen beim Schutz vor abnormalen Darmzellen (Rochfort und Panozzo 2007).

5.10 Toxische Wirkmechanismen

Vergiftungen durch Alkaloide führen zu Krämpfen infolge Nervenlähmungen. Die Wirkung ist dosisabhängig, kann aber bis zum Herzstillstand führen (Plarre 1999).

Lektine entfalten ihre antinutritiven bzw. toxischen Eigenschaften über die spezifische Bindung an verschiedene Zucker auf Zellmembranen, z.B. binden sie an Erythrozyten und agglutinieren diese dadurch (Champ 2002). Ähnlich scheinen Saponine zu wirken. Sie

zeigten *in vitro*, dass durch ihre Interaktion mit dem Cholesterin der Erythrozytenzellwand diese zerstört werden kann (Champ 2002).

Für die ungünstigen bis toxischen Wirkungen phenolischer Komponenten, besonders der Tannine, sind wahrscheinlich hauptsächlich ihre komplexierenden Eigenschaften verantwortlich (siehe Kap. 3.3.7.2).

6 Potenzial unerwünschter Wirkungen

Die einzelnen unerwünschten Wirkungen sind sehr unterschiedlich zu beurteilen. Für die Bevölkerung in Deutschland spielt durch Ackerbohnen verursachter Favismus eine eher untergeordnete Rolle, wohingegen das allergene Potenzial, vor allem das der Lupine, einen hohen Stellenwert einnimmt. Auch das Potenzial toxischer Wirkungen der Inhaltsstoffe spielt eine große Rolle. Durch züchterische und gentechnische Verfahren wird bereits versucht, die Stoffe, welche die unerwünschten Wirkungen verursachen, zu reduzieren.

Die Senkung der Bioverfügbarkeit verschiedener Stoffe kann sowohl positiv als auch negativ betrachtet werden (vgl. Kap. 4.11 und Kap. 4.13). Außerdem kann sie durch geeignete Zubereitungsformen (z.B. Kochen) verbessert werden. Deshalb stellt sie für Personen ohne Maldigestions- und Malabsorptionsprobleme bei einer ausgewogenen Ernährung nach den Regeln der DGE (Max Rubner-Institut Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel 2008) keine Gefahr dar.

6.1 Allergenes Potenzial

Bisher waren im Bereich der Hülsenfrüchte vor allem Lebensmittelallergien gegen Erdnüsse und Sojabohnen bekannt. Das Bundesinstitut für Risikobewertung schätzt in einer aktualisierten Stellungnahme das allergene Potenzial von Lupinen als „besonders“ ein. Deshalb fällt sie auch unter die EU-Kennzeichnungspflicht für Allergene lt. Richtlinie 2006/142/EG vom 22.Dezember 2006 [1]. Nicht nur das direkte Allergierisiko durch Lupinen ist hoch, auch das Kreuzallergierisiko zwischen Erdnüssen und Lupinen ist größer als das zu anderen Hülsenfrüchten (Guillamón et al. 2010). Es ist daher für Allergiker von Vorteil, dass Lupinen und ihre Bestandteile auf Lebensmitteln deklariert werden müssen. Allerdings könnte der vermehrte Einsatz von Lupinenprotein in Lebensmitteln, wie bei Soja, auch zu einem erhöhten Auftreten von Hülsenfruchtallergien bei Personen führen, die bis dato noch keine lebenmittelallergischen Reaktionen zeigen. Nähere Informationen zum allergenen Potenzial gibt die BfR-Pressestelle des Bundesinstituts für Risikobewertung.

1 Verbindlich ist dabei ausschließlich das in den gedruckten Ausgaben des Amtsblattes der Europäischen Union veröffentlichte Gemeinschaftsrecht

6.2 Favismus

Wie bereits erwähnt können β-Glykoside der Ackerbohne Favismus (Bohnenkrankheit) auslösen. Diese Krankheit tritt nur bei Personen mit angeborenem G6PD-Mangel auf (vgl. Kap. 3.3.3). Zu den Symptomen des Favismus gehören akute Hämolyse, Hämoglobinurie, Anämie und Ikterus. Außerdem können unspezifisch Kopfschmerz, Übelkeit, Rückenschmerzen, Schüttelfrost und Fieber auftreten. Meist werden auch erhöhte Methämoglobinwerte festgestellt (Schuurman et al. 2009). Der Mechanismus für die Favismus-Entstehung ist dabei relativ gut bekannt. Das Enzym G6PD schützt Erythrozyten vor oxidativem Stress. Es katalysiert den ersten Schritt des Pentose-Phosphatwegs und führt über NADPH zur Reduzierung von Glutathion, welches antioxidativ auf die Erythrozyten wirkt. Sein Mangel erhöht die Anfälligkeit der roten Blutkörperchen für Hämolyse (Schuurman et al. 2009). Auslöser dafür können auch die Abbauprodukte der Favismus-Substanzen, Divicin und Isouramil, sein. Sie werden im Verdauungstrakt von der β-Glukose abgespalten und resorbiert. Das Glutathion der Erythrozyten oxidiert die Aglykone. Dadurch entsteht ein Mangel an Glutathion (starker oxidativer Stress) und es kommt zu hämolytischen Erscheinungen (Schuurman et al. 2009; Ternes et al. 2005).

Um das von Ackerbohnen ausgehende Favismus-Risiko zu senken, gibt es bereits züchterische Ansätze zur Reduktion des Gehaltes an Vicin und Convicin (Keller 1999). In Deutschland und Mitteleuropa ist der Mangel an G6PD sehr selten (Kasper 2004), weshalb Ackerbohnen hier bedenkenlos verzehrt werden können. Ein verbreitetes Vorkommen von Favismus ist aber für den Mittelmeerraum und den Nahen Osten beschrieben worden (Pschyrembel 2004), weshalb für Personen mit Migrationshintergrund aus Mittelmeerländern ein höheres Risiko besteht an Favismus zu erkranken.

6.3 Toxizität

Das toxische Potenzial von Hülsenfruchtbestandteilen scheint für Alkaloide am größten zu sein (vgl. Kap. 3.3.1 und Kap. 4.15). Doch kann hier durch die Nutzung der alkaloidarmen Süßlupinen das Risiko einer Alkaloidvergiftung minimiert werden. Die beobachteten toxischen Wirkungen anderer Stoffe (z.B. α-Galaktoside und Sojasaponin I (siehe Kap 4.15)) sollten noch weiter erforscht werden. Nach dem aktuellen Stand der Forschung sieht es aber danach aus, dass viele dieser Stoffe für den Menschen nicht nachteilig sind, sondern z.B. Krebs minimieren können (Hu et al. 2004; Niehues et al. 2010; Shi et al. 2004). Man sollte sich also im Klaren darüber sein, dass das Entfernen von unerwünschten Stoffen durch Züchtung auch gleichzeitig deren positive Eigenschaften aus den Hülsenfrüchten eliminiert. Außerdem werden viele dieser Stoffe durch Erhitzen denaturiert oder abgebaut (siehe Kap. 3.3)

7 Schlussfolgerungen

Die einheimischen Körnerleguminosen Ackerbohne (*Vicia faba L.*), Erbse (*Pisum sativum L.*) und Lupine (*Lupinus spp.*) zählen zu den ältesten Nahrungs- und Kulturpflanzen des Menschen. Heute besitzen sie in den westlichen Industrienationen allerdings nur noch einen geringen Stellenwert in der menschlichen Ernährung (siehe Kap. 1). Mögliche Ursachen dafür waren nicht Gegenstand dieser Arbeit. Man könnte aber annehmen, dass neben dem oft negativ bemerkten Image der Hülsenfrüchte „Jedes Böhnchen ein Tönchen" auch Unwissen über ihre mögliche Einbeziehung in die tägliche Ernährung, ihre Zubereitung und teils ihr als unangenehm empfundener Geschmack eine Rolle spielen. Inzwischen werden Lupinenbestandteile wegen ihrer günstigen Eigenschaften zunehmend von der Lebensmittelindustrie eingesetzt (Hall et al. 2005a; Hall et al. 2005b).

Allgemein ist beim Schreiben dieser Arbeit festgestellt worden, dass außer für Soja nur wenig über die ernährungsphysiologischen und biofunktionellen Wirkungen der einzelnen Hülsenfrüchten bekannt ist. Festgestellte Wirkungen sind in Tabelle 9 aufgeführt. Es ist zu erkennen, dass die einheimischen Hülsenfrüchte ein breites Wirkungsspektrum besitzen, in welchem die positiven Wirkungen der einzelnen Inhaltsstoffe überwiegen.

Tabelle 9: Günstige und ungünstige Wirkungen der einheimischen Hülsenfrüchte

Inhaltsstoff	Günstig	Ungünstig
Eiweiß	- hochwertiges Eiweiß - antiinflammatorisch (?) - antibakteriell (?) [2] - antioxidativ (?) - immunmodulatorisch (?) [2] - ↓ Atherosklerose (?) [1] - lipidsenkend [1 2] - sättigend (?) [1]	- Allergenes Potenzial [1]
Kohlenhydrate	- Energielieferant	
Oligosaccharide	- ↑ Bifidobakterien (?)	- ↓ Nährstoffabsorption (?) - Flatulenz
Resistente Stärke	- beeinflusst Darmflora - lipidsenkend (?)	- Flatulenz
Fettsäuren	- antiinflammatorisch (?) - Fettsäuremuster ändern (?)	
Ballaststoffe	- ↓ Blutzucker (??) [1] - ↑ Bifidobakterien (?) - ↑ Insulin (??) - lipidsenkend (?) - sättigend (?) [1]	- ↓ Mineralstoffabsorption [3]
Alkaloide [1]	- ↓ Insulin (?)	- toxisch - geringere Nahrungszufuhr im Tier (?) - in Tieren Wachstumsstörungen

Inhaltsstoff	Günstig	Ungünstig
Favismus-Substanzen		- toxisch [3] (Hämolyse)
Lektine	- antikanzerogen (?) [3] - ↓ Blutzucker (?) *	
Phytinsäure	- antikanzerogen (?) * - ↓ Blutzucker (?) *	- ↓ Mineralstoffabsorption [2 3] - ↓ Nährstoffabsorption (?)
Phytoöstrogene	- antikanzerogen (?) *	
Phytosterine	- lipidsenkend (?)	
Polyphenole	- antiinflammatorisch (?) - antikanzerogen (?) * - antioxidativ (?) - ↓ Blutzucker (?) * - ↑ Adiponektin (?)	
Protease-Inhibitoren	- antikanzerogen [2] - antifungal [3] - ↓ Blutzucker (?) (Amylase-Inhibitor) * - mitogen (?) [3]	- ↓ Nährstoffabsorption - ↓ Nährstoffverdauung [3] - in Tieren Wachstumsstörungen
Saponine	- antikanzerogen (?) - antioxidativ (?) ° - immunmodulatorisch °	- cytotoxisch für Krebszellen (?) - adstringierend °
Tannine (kondensiert)	- antikanzerogen (?) * - ↓ Blutzucker (?) *	- senken Nahrungszufuhr im Tier (?) [3] - ↓ Mineralstoffabsorption [2] - ↓ Nährstoffverdauung im Tier [3] - in Tieren Wachstumsstörungen - adstringierend *

[1] speziell bei Lupine [2] speziell bei Erbse [3] speziell bei Ackerbohne
* nach Champ (2002) ° nach Shi et al. (2004)
(?) bedarf noch weiterer Forschung (??) unterschiedliche Ergebnisse

Sehr viele der Wirkungen müssen aber noch durch weitere Studien belegt werden. Aufgefallen ist, dass es nur wenige Humanstudien in diesem Bereich gibt. Die dieser Arbeit vorliegenden Humanstudien wurden außerdem mit sehr wenigen Probanden und über teils sehr kurze Zeiträume durchgeführt. Die größte Studie umfasste lediglich 56 Probanden (Weiße et al. 2009). Die Studie, bei der am längsten Hülsenfruchtbestandteile verzehrt wurden, dauerte acht Wochen (Hermsdorff et al. 2011). Um Empfehlungen für einen zukünftigen Einsatz geben zu können, sind größer angelegte Humanstudien nötig. Auch Studien mit Kindern fehlen völlig. Eine Studie hat die Fe-Absorption für Babynahrung auf Erbsenproteinbasis an acht jungen Frauen untersucht (Davidsson et al. 2001). Es sollte daher auch untersucht werden, ob bei Kleinkindern ähnlich gute Effekte erzielt werden können.

Eine abschließende Empfehlung für den zukünftigen Einsatz der einzelnen Körner-

leguminosen kann nach dem aktuellen Forschungsstand noch nicht gegeben werden. Hülsenfrüchte sind aber in jedem Fall empfehlenswert und sollten wieder vermehrt auf dem Speiseplan stehen. Von den positiven Wirkungen können alle profitieren. Aufgrund ihres niedrigen glykämischen Indices, ihres meist geringen Fettgehalts (siehe Tabelle 1) und ihres biologisch wertvollen Einweißes eignen sie sich gut für eine ausgewogene Ernährung. Einen Ausgleich zu den wenig vorhandenen Aminosäuren Methionin, Cystein und Tryptophan bringt dabei die gleichzeitige Zufuhr von Ei oder Getreide (siehe Kap. 3.1.1). Der in Tierstudien gezeigte günstige Effekt von Fettsäuren aus Ackerbohne, Erbse (Scerra et al. 2011) und Lupine (Volek und Marounek 2011) auf die tierische intramuskuläre Fettsäurekomposition könnte sich eventuell auch beim Menschen günstig auswirken und so das Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen senken.

Besonders lohnen könnte sich der Einsatz in Zukunft für Personen mit Dyslipidämien (Duane 1997; Hall et al. 2005a; Hermsdorff et al. 2011; Trinidad et al. 2010; Weiße et al. 2009). Hier scheint vor allem Lupinenprotein günstige cholesterinsenkende Eigenschaften zu besitzen (siehe Kap. 4.9). In manchen Fällen wurde jedoch ungünstigerweise auch HDL gesenkt. Regelmäßiger Verzehr von 90 g Ackerbohnenmehl konnte HDL um 15 bis 18% steigern (Frühbeck et al. 1997). Hier zeichnen sich also durchaus Unterschiede zwischen den einzelnen Hülsenfruchtarten ab. Von einem verstärkten Verzehr einheimischer Hülsenfrüchte können außerdem Personen mit Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen (Frühbeck et al. 1997; Wang und McIntosh 1996), Typ 2 Diabetiker (siehe Kap. 4.8 und Kap. 5.5) und Übergewichtige (Hermsdorff et al. 2011) profitieren. Wenn sich die Hinweise für antiadhäsive (Niehues et al. 2010), antifungale (Ye und Ng 2002) und Fe-absorptionssteigernde (Davidsson et al. 2001) Wirkungen bei Babys und Kleinkindern, Gastritis- und HIV-Patienten bestätigen lassen, könnten auch diese vom Einsatz einzelner Hülsenfruchtbestandteile in funktionellen Lebensmitteln oder Medikamenten profitieren. In der Literatur gibt es auch erste Hinweise auf positive neurogene Wirkungen von Phytoöstrogenen bei Parkinson und Demenz (Rochfort und Panozzo 2007). Um dies zu belegen und ob einheimische Körnerleguminosen als Lieferanten in Frage kämen, sind weitere umfangreiche Untersuchungen nötig.

Das Potenzial einheimischer Hülsenfrüchte hinsichtlich Toxizität und Reduzierung der Bioverfügbarkeit von Mineralstoffen ist als gering einzustufen, da die verantwortlichen Stoffe häufig durch Kochen oder anderweitige Verarbeitung inhibiert werden (siehe Kap. 3.3 und Kap. 4.13). Andererseits gehen dabei wahrscheinlich auch ihre günstigen Eigenschaften verloren. Alkaloide scheinen bei diesen Stoffen oral die höchste Toxizität zu besitzen. Deshalb sollten bevorzugt die alkaloidarmen Süßlupinensamen genutzt werden (vgl. Kap. 4.15). Verarbeitungsmethoden können über die Senkung von Protease-Inhibitoren und anderen sekundären Pflanzenstoffen auch Einfluss auf die Verdaulichkeit der Proteine und Kohlenhydrate

nehmen. Gezeigt wurde dies an Erbsen (Alonso et al. 2000; Urbano et al. 2003), auch Keimung zeigt einen positiven Einfluss (Champ 2002; Urbano et al. 2005).

Das Vorurteil zur flatulierenden Wirkung bestätigt sich nur teilweise, da gezeigt werden konnte, dass die günstige Beeinflussung von Bifidobakterien durch resistente Stärken und α-Galaktoside eine Reduzierung der Gasproduktion zur Folge hat (siehe Kap. 4.14). Außerdem wird durch die Hemmung pathogener Keime die Darmgesundheit verbessert (Gulewicz et al. 2002).

Als ungünstig sind der durch Ackerbohnenverzehr auslösbare Favismus und das allergene Potenzial von Lupinen zu bewerten. Die Einschätzung des besonderen allergenen Potenzials durch das Bundesinstitut für Risikobewertung (2011) macht Lupinen für Allergiker, auch Personen mit Heuschnupfen, nicht empfehlenswert. Dieses Potenzial könnte durch die Förderung des Einsatzes von Lupinen in Lebensmitteln noch steigen (siehe oben). Dagegen ist das Favismus-Risiko sehr gering (siehe Kap. 6.2).

Zusammenfassend konnte im Rahmen der vorliegenden Arbeit gezeigt werden, dass die Inhaltsstoffe der einheimischen Körnerleguminosen Ackerbohne (*Vicia faba L.*), Erbse (*Pisum sativum L.*) und Lupine (*Lupinus spp.*) sehr viele verschiedene und meist positive Wirkungen besitzen. Diese machen die Inhaltsstoffe interessant für einen künftigen Einsatz in funktionellen Lebensmitteln und Medikamenten. Dazu bedarf es allerdings vieler weiterer Belege zu den Wirkungen der einzelnen Inhaltsstoffe, um auch Interaktionen zwischen verschiedenen Stoffen und mit Körperstrukturen zu erkennen. Doch auch ihr direkter Einsatz als Lebensmittel bietet eine wertvolle Ergänzung der täglichen Ernährung.

8 Literaturverzeichnis

Abbey, B. W.; Norton, G.; Neale, R. J. (1979): Effects of dietary proteinase inhibitors from field bean (Vicia faba L.) and field-bean meal on pancreatic function in the rat. In: *Br. J. Nutr* 41 (1), S. 39–45.

Alonso, R.; Grant, G.; Dewey, P.; Marzo, F. (2000): Nutritional assessment in vitro and in vivo of raw and extruded peas (Pisum sativum L.). In: *J. Agric. Food Chem* 48 (6), S. 2286–2290.

Belitz, H.-D.; Grosch, W.; Schieberle, P. (Hg.) (2008): Lehrbuch der Lebensmittelchemie. Mit 634 Tabellen. 6., vollst. überarb. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.

Bettzieche, A. (2010): Experimentelle Untersuchungen zum Einfluss von Lupinenprotein auf den Lipidstoffwechsel. Univ., Naturwissenschaftliche Fakultät III, Halle, Saale, Halle. Online verfügbar unter urn:nbn:de:gbv:3:4-3935 (Zugriff: 23.08.2011, 10:12MEZ).

BfR-Pressestelle (Hrsg.) (2011): Aktualisierte Stellungnahme Nr. 039/2011 des BfR vom 26. August 2011: Allergie durch Lupineneiweiß in Lebensmitteln (pdf-Datei). Internet: http://www.bfr.bund.de/de/bfr_stellungnahmen_2011.html (Zugriff: 16.09.2011, 17:02MEZ)

Biesalski, H. K.; Adolph, M. (Hg.) (2010): Ernährungsmedizin. Nach dem neuen Curriculum Ernährungsmedizin der Bundesärztekammer ; 276 Tabellen. Unter Mitarbeit von S. C. Bischoff und C. Puchstein. 4., vollst. überarb. und erw. Stuttgart; New York: Thieme.

BMELV (Hg.) (2010): Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland. *Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland*. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW GmbH.

Brandsch, C.; Kappis, D.; Weisse, K.; Stangl, G. (2010): Effects of untreated and thermally treated lupin protein on plasma and liver lipids of rats fed a hypercholesterolemic high fat or high carbohydrate diet. In: *Plant Foods Hum Nutr* 65 (4), S. 410–416.

Bundessortenamt (Hg.) (2011): Beschreibende Sortenliste Getreide, Mais, Öl- und Faserpflanzen, Leguminosen, Rüben, Zwischenfrüchte. *Beschreibende Sortenliste Getreide, Mais, Öl- und Faserpflanzen, Leguminosen, Rüben, Zwischenfrüchte*. Hannover: BSA.

Carle, R. (2010): Sekundäre Pflanzenstoffe. In: H. K. Biesalski und M. Adolph (Hg.): Ernährungsmedizin. Nach dem neuen Curriculum Ernährungsmedizin der Bundesärztekammer ; 276 Tabellen. Unter Mitarbeit von S. C. Bischoff und C. Puchstein. 4., vollst. überarb. und erw. Stuttgart; New York: Thieme, S. 235–243.

Champ, M. M-J (2002): Non-nutrient bioactive substances of pulses. In: *Br. J. Nutr* 88 Suppl 3, S. 307–319.

Clemente, A.; Gee, J. M.; Johnson, I. T.; Mackenzie, D. A.; Domoney, C. (2005): Pea (Pisum sativum L.) protease inhibitors from the Bowman-Birk class influence the growth of human colorectal adenocarcinoma HT29 cells in vitro. In: *J. Agric. Food Chem* 53 (23), S. 8979–8986.

Davidsson, L.; Dimitriou, T.; Walczyk, T.; Hurrell, R. F. (2001): Iron absorption from experimental infant formulas based on pea (Pisum sativum)-protein isolate: the effect of phytic acid and ascorbic acid. In: *Br. J. Nutr* 85 (1), S. 59–63.

Duane, W. C. (1997): Effects of legume consumption on serum cholesterol, biliary lipids, and sterol metabolism in humans. In: *J. Lipid Res* 38 (6), S. 1120–1128.

Europäische Union (Hrsg.) (2006): Richtlinie 2006/142/EG der Kommission vom 22. Dezember 2006 zur Änderung des Anhangs III a der Richtlinie 2000/13/EG des Europäischen Parlaments und des Rates mit dem Verzeichnis der Zutaten, die unter allen Umständen auf der Etikettierung der Lebensmittel anzugeben sind. Internet: http://eur-lex.europa.eu/ (Zugriff: 11.11.2011, 14:26MEZ)

Fang, E. F.; Hassanien, A. A. E.; Wong, J. H.; Bah, C. S. F.; Soliman, S. S.; Ng, T. B. (2010): Purification and modes of antifungal action by Vicia faba cv. Egypt trypsin inhibitor. In: *J. Agric. Food Chem* 58 (19), S. 10729–10735.

Feldman, N.; Norenberg, C.; Voet, H.; Manor, E.; Berner, Y.; Madar, Z. (1995): Enrichment of an Israeli ethnic food with fibres and their effects on the glycaemic and insulinaemic responses in subjects with non-insulin-dependent diabetes mellitus. In: *Br. J. Nutr* 74 (5), S. 681–688.

Foley, R. C.; Ling-Ling, G.; Spriggs, A.; Soo, L. Y. C.; Goggin, D. E.; Smith, P. M. C. et al. (2011): Identification and characterisation of seed storage protein transcripts from <ovid:i>Lupinus angustifolius</ovid:i>. In: *BMC Plant Biology* 11 (April), S. 14pp.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (Hrsg.) (2011): FAOSTAT – Startseite (WWW-Seite, Stand: 2011). Internet: http://faostat.fao.org/default.aspx (Zugriff: 08.10.2011, 20:37MEZ)

Frühbeck, G.; Monreal, I.; Santidrian, S. (1997): Hormonal implications of the hypocholesterolemic effect of intake of field beans (Vicia faba L.) by young men with hypercholesterolemia. In: *Am. J. Clin. Nutr* 66 (6), S. 1452–1460.

García López, P. M.; La Mora, P. G. de; Wysocka, W.; Maiztegui, B.; Alzugaray, M. E.; Del Zotto, H.; Borelli, M. I. (2004): Quinolizidine alkaloids isolated from Lupinus species enhance insulin secretion. In: *Eur. J. Pharmacol* 504 (1-2), S. 139–142.

Gladstones, J. S. (1998): Distribution, Origin, Taxonomy, History and Importance. In: J. S. Gladstones, C. A. Atkins und J. Hamblin (Hg.): Lupins as crop plants. Biology, production, and utilization. Wallingford, Oxon, UK ;, New York, NY, USA: CAB International, S. 1–39.

Guillamón, E.; Rodríguez, J.; Burbano, C.; Muzquiz, M.; Pedrosa, M. M.; Cabanillas, B. et al. (2010): Characterization of lupin major allergens (Lupinus albus L.). In: *Mol Nutr Food Res* 54 (11), S. 1668–1676.

Gulewicz, P.; Szymaniec, S.; Bubak, B.; Frias, J.; Vidal-Valverde, Concepcion; Trojanowska, K.; Gulewicz, K. (2002): Biological activity of alpha-galactoside preparations from Lupinus angustifolius L. and Pisum sativum L. seeds. In: *J. Agric. Food Chem* 50 (2), S. 384–389.

Hall, R. S.; Johnson, S. K.; Baxter, A. L.; Ball, M. J. (2005a): Lupin kernel fibre-enriched foods beneficially modify serum lipids in men. In: *Eur J Clin Nutr* 59 (3), S. 325–333.

Hall, R. S.; Thomas, S. J.; Johnson, S. K. (2005b): Australian sweet lupin flour addition reduces the glycaemic index of a white bread breakfast without affecting palatability in healthy human volunteers. In: *Asia Pac J Clin Nutr* 14 (1), S. 91–97.

Hanelt, P. (2006): Die Lupinen. Zur Botanik und Geschichte landwirtschaftlich wichtiger Lupinenarten. 2., unveränd. Hohenwarsleben: Westarp-Wiss.-Verl.-Ges (Die neue Brehm-Bücherei, Heft 265).

Hedley, C. L. (2001): Introduction. In: C. L. Hedley (Hg.): Carbohydrates in grain legume seeds. Improving nutritional quality and agronomic characteristics. Wallingford: CABI Publishing, S. 1–13.

Hermsdorff, H. H. M.; Zulet, M. A.; Abete, I.; Martinez, J. A. (2011): A legume-based hypocaloric diet reduces proinflammatory status and improves metabolic features in overweight/obese subjects. In: *Eur J Nutr* 50 (1), S. 61–69.

Hu, J.; Reddy, M. B.; Hendrich, S.; Murphy, P. A. (2004): Soyasaponin I and sapongenol B have limited absorption by Caco-2 intestinal cells and limited bioavailability in women. In: *J. Nutr* 134 (8), S. 1867–1873.

Kasper, H. (2004): Ernährungsmedizin und Diätetik. Mit 100 Tabellen. Unter Mitarbeit von M. Wild und W. Burghardt. 10., neubearb. Aufl. München; Jena: Elsevier Urban & Fischer.

Keller, E. R. (1999): Fababohne. In: H. Hanus, K.-U Heyland und E. R. Keller (Hg.): Knollen- und Wurzelfrüchte, Körner- und Futterleguminosen. Mit 206 Tabellen. Stuttgart (Hohenheim): Ulmer (Handbuch des Pflanzenbaues, / Hrsg. des Gesamtw. Herbert Hanus … ; Bd. 3), S. 614–658.

Kinjo, J.; Hatakeyama, M.; Udayama, M.; Tsutanaga, Y.; Yamashita, M.; Nohara, T. et al. (1998): HPLC profile analysis of oleanene-glucuronides in several edible beans. In: *Biosci Biotechnol Biochem* 62 (3), S. 429–433.

Kosior-Korzecka, U.; Bobowiec, R. (2003): Changes in the level of endogenous leptin, FSH, 17beta-oestradiol and metabolites during lupin-induced increase in ovulation rate in ewes. In: *J Vet Med A Physiol Pathol Clin Med* 50 (7), S. 343–349.

Krug, H. (2002a): Die Produktion von Pflanzen. In: H. Krug, H.-P. Liebig und H. Stützel (Hg.): Gemüseproduktion. Ein Lehr- und Nachschlagewerk für Studium und Praxis. Stuttgart (Hohenheim): Ulmer, S. 11–29.

Krug, H. (2002b): Fabaceae (Papilionaceae, Schmetterlingsblütler). In: H. Krug, H.-P. Liebig und H. Stützel (Hg.): Gemüseproduktion. Ein Lehr- und Nachschlagewerk für Studium und Praxis. Stuttgart (Hohenheim): Ulmer, S. 312–330.

Longstaff, M. A.; McNab, J. M. (1991a): The effect of concentration of tannin-rich bean hulls (Vicia faba L.) on activities of lipase (EC 3.1.1.3) and alpha-amylase (EC 3.2.1.1) in digesta and pancreas and on the digestion of lipid and starch by young chicks. In: *Br. J. Nutr* 66 (1), S. 139–147.

Longstaff, M.; McNab, J. M. (1991b): The inhibitory effects of hull polysaccharides and tannins of field beans (Vicia faba L.) on the digestion of amino acids, starch and lipid and on digestive enzyme activities in young chicks. In: *Br. J. Nutr* 65 (2), S. 199–216.

Madar, Z.; Stark, A. H. (2002): New legume sources as therapeutic agents. In: *Br. J. Nutr* 88 (Suppl. 3), S. 287–292.

Martins, J. M.; Riottot, M.; Abreu, M. C. de; Lanca, M. J.; Viegas-Crespo, A. M.; Almeida, J. A. et al. (2004): Dietary raw peas (Pisum sativum L.) reduce plasma total and LDL cholesterol and hepatic esterified cholesterol in intact and ileorectal anastomosed pigs fed cholesterol-rich diets. In: *J. Nutr* 134 (12), S. 3305–3312.

Martins, J. M.; Riottot, M.; Abreu, M. C. de; Viegas-Crespo, A. M.; Lanca, M. J.; Almeida, J. A. et al. (2005): Cholesterol-lowering effects of dietary blue lupin (<ovid:i>Lupinus angustifolius</ovid:i> L.) in intact and ileorectal anastomosed pigs. In: *J Lipid Res* 46 (7), S. 1539–1547.

Max Rubner-Institut Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel (Hg.) (2008): Nationale Verzehrs-Studie II, Ergebnisbericht, Teil 2. Die bundesweite Befragung zur Ernährung von Jugendlichen und Erwachsene. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz ; Max Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel. Karlsruhe: MRI.

Ndiaye, Fatou; Vuong, Tri; Duarte, J.; Aluko, R. E.; Matar, C. (2011): Anti-oxidant, anti-inflammatory and immunomodulating properties of an enzymatic protein hydrolysate from yellow field pea seeds. In: *Eur J Nutr*.

Niehues, M.; Euler, M.; Georgi, G.; Mank, M.; Stahl, B.; Hensel, A. (2010): Peptides from Pisum sativum L. enzymatic protein digest with anti-adhesive activity against Helicobacter pylori: structure-activity and inhibitory activity against BabA, SabA, HpaA and a fibronectin-binding adhesin. In: *Mol Nutr Food Res* 54 (12), S. 1851–1861.

Okada, Y.; Okada, M.; Sagesaka, Y. (2010): Screening of dried plant seed extracts for adiponectin production activity and tumor necrosis factor-alpha inhibitory activity on 3t3-l1 adipocytes. In: *Plant Foods Hum Nutr* 65 (3), S. 225–232.

Olkowski, A. A.; Olkowski, B. I.; Amarowicz, R.; Classen, H. L. (2001): Adverse effects of dietary lupine in broiler chickens. In: *Poult. Sci* 80 (5), S. 621–625.

Petterson, D.S (1998): Composition and Food Uses of Lupins. In: J. S. Gladstones, C. A. Atkins und J. Hamblin (Hg.): Lupins as crop plants. Biology, production, and utilization. Wallingford, Oxon, UK ;, New York, NY, USA: CAB International, S. 353–384.

Plarre, W. (1999): Lupine. In: H. Hanus, K.-U Heyland und E. R. Keller (Hg.): Knollen- und Wurzelfrüchte, Körner- und Futterleguminosen. Mit 206 Tabellen. Stuttgart (Hohenheim): Ulmer (Handbuch des Pflanzenbaues, / Hrsg. des Gesamtw. Herbert Hanus … ; Bd. 3), S. 689–710.

Pownall, T. L.; Udenigwe, C. C.; Aluko, R. E. (2010): Amino acid composition and antioxidant properties of pea seed (Pisum sativum L.) enzymatic protein hydrolysate fractions. In: *J. Agric. Food Chem* 58 (8), S. 4712–4718.

Pschyrembel, W. (Hg.) (2004): Pschyrembel Klinisches Wörterbuch. [enthält 330 Tabellen]. begründet 1894 von Otto Dornblüth. 260., neu bearb. Berlin: de Gruyter.

Rigamonti, E.; Parolini, C.; Marchesi, M.; Diani, E.; Brambilla, S.; Sirtori, C. R.; Chiesa, G. (2010): Hypolipidemic effect of dietary pea proteins: Impact on genes regulating hepatic lipid metabolism. In: *Mol Nutr Food Res* 54 Suppl 1, S. S24-30.

Rochfort, S.; Panozzo, J. (2007): Phytochemicals for health, the role of pulses. In: *J. Agric. Food Chem* 55 (20), S. 7981–7994.

Römer, A. (1998): Untersuchungen zu Inhaltsstoffen und zum Futterwert von Ackerbohnen (Vicia faba L.). Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen. Tierphysiologie und Tierernährung.

Rubio, L. A.; Grant, G.; Dewey, P.; Bremner, I.; Pusztai, A. (1994): The intestinal true absorption of 65Zn in rats is adversely affected by diets containing a faba bean (Vicia faba L.) nonstarch polysaccharide fraction. In: *J. Nutr* 124 (11), S. 2204–2211.

Scerra, M.; Caparra, P.; Foti, F.; Cilione, C.; Zappia, G.; Motta, C.; Scerra, V. (2011): Intramuscular fatty acid composition of lambs fed diets containing alternative protein sources. In: *Meat Sci* 87 (3), S. 229–233.

Schuurman, M.; van Waardenburg, D.; Da Costa, J.; Niemarkt, H.; Leroy, P. (2009): Severe hemolysis and methemoglobinemia following fava beans ingestion in glucose-6-phosphatase dehydrogenase deficiency: case report and literature review. In: *Eur. J. Pediatr* 168 (7), S. 779–782.

Shi, J.; Arunasalam, K.; Yeung, D.; Kakuda, Y.; Mittal, Gauri; Jiang, Y. (2004): Saponins from edible legumes: chemistry, processing, and health benefits. In: *J Med Food* 7 (1), S. 67–78.

Smith, S. C.; Choy, R.; Johnson, S. K.; Hall, R. S.; Wildeboer-Veloo, A. C. M.; Welling, G. W. (2006): Lupin kernel fiber consumption modifies fecal microbiota in healthy men as determined by rRNA gene fluorescent<ovid:i> in situ</ovid:i> hybridization. In: *Eur J Nutr* 45 (6), S. 335–341.

Stelling, D.; Naumann, S. (1999): Erbse (Trockenspeise- und Futtererbsen). In: H. Hanus, K.-U Heyland und E. R. Keller (Hg.): Knollen- und Wurzelfrüchte, Körner- und Futterleguminosen. Mit 206 Tabellen. Stuttgart (Hohenheim): Ulmer (Handbuch des Pflanzenbaues, / Hrsg. des Gesamtw. Herbert Hanus … ; Bd. 3), S. 564–611.

Ternes, W.; Täufel, A.; Tunger, L.; Zobel, M.; Dongowski, G. (Hg.) (2005): Lexikon der Lebensmittel und der Lebensmittelchemie. 4., [umfassend überarb.] Aufl. Stuttgart: Wiss. Verl.-Ges.

Terruzzi, I.; Senesi, P.; Magni, C.; Montesano, A.; Scarafoni, A.; Luzi, L.; Duranti, M. (2011): Insulin-mimetic action of conglutin-γ, a lupin seed protein, in mouse myoblasts. In: *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 21 (3), S. 197–205.

Trinidad, T. P.; Mallillin, A. C.; Loyola, A. S.; Sagum, R. S.; Encabo, R. R. (2010): The potential health benefits of legumes as a good source of dietary fibre. In: *Br J Nutr* 103 (4), S. 569–574.

Urbano, G.; Aranda, P.; Gómez-Villalva, E.; Frejnagel, S.; Porres, J. M.; Frias, J. et al. (2003): Nutritional evaluation of pea (Pisum sativum L.) protein diets after mild hydrothermal treatment and with and without added phytase. In: *J. Agric. Food Chem* 51 (8), S. 2415–2420.

Urbano, G.; López-Jurado, M.; Frejnagel, S.; Gómez-Villalva, E.; Porres, J. M.; Frias, J. et al. (2005): Nutritional assessment of raw and germinated pea (Pisum sativum L.) protein and carbohydrate by in vitro and in vivo techniques. In: *Nutrition* 21 (2), S. 230–239.

Viveros, A.; Centeno, C.; Arija, I.; Brenes, A. (2007): Cholesterol-lowering effects of dietary lupin (Lupinus albus var multolupa) in chicken diets. In: *Poult. Sci* 86 (12), S. 2631–2638.

Volek, Z.; Marounek, M. (2011): Effect of feeding growing-fattening rabbits a diet supplemented with whole white lupin (Lupinus albus cv. Amiga) seeds on fatty acid composition and indexes related to human health in hind leg meat and perirenal fat. In: *Meat Sci* 87 (1), S. 40–45.

Wagner, H. (1999): Arzneidrogen und ihre Inhaltsstoffe. Unter Mitarbeit von R. Bauer. 6., neu bearb. und erw. Aufl. Stuttgart: Wiss. Verl.-Ges. (Pharmazeutische Biologie). Online verfügbar unter http://www.worldcat.org/oclc/42760250.

Wang, Y. H.; McIntosh, G. H. (1996): Extrusion and boiling improve rat body weight gain and plasma cholesterol lowering ability of peas and chickpeas. In: *J. Nutr* 126 (12), S. 3054–3062.

Watzl, B. (1999): Bioaktive Substanzen in Lebensmitteln. Unter Mitarbeit von C. Leitzmann. 2., überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: Hippokrates-Verlag.

Weiße, K. (2009): Experimentelle Studien zur Wirkung von Lupinenprotein (L. angustifolius) auf den Lipidstoffwechsel und die Atherogenese. Univ., Naturwissenschaftliche Fakultät III, Halle, Saale, Halle. Online verfügbar unter urn:nbn:de:gbv:3:4-981.

Weisse, K.; Brandsch, C.; Hirche, F.; Eder, K.; Stangl, G. (2010): Lupin protein isolate and cysteine-supplemented casein reduce calcification of atherosclerotic lesions in apoE-deficient mice. In: *Br. J. Nutr* 103 (2), S. 180–188.

Weiße, K.; Brandsch, C.; Zernsdorf, B.; Nkengfack, N. G. S.; Hofmann, K.; Eder, K.; Stangl, G. (2009): Lupin protein compared to casein lowers the LDL cholesterol. HDL-cholestorolratio o hypercholesterolemic adults. In: *Eur J Nutr* 49 (2009), S. 65–71.

Werner, D. (1999): Biologische Stickstoff-Fixierung (BNF). In: H. Hanus, K.-U Heyland und E. R. Keller (Hg.): Knollen- und Wurzelfrüchte, Körner- und Futterleguminosen. Mit 206 Tabellen. Stuttgart (Hohenheim): Ulmer (Handbuch des Pflanzenbaues, / Hrsg. des Gesamtw. Herbert Hanus … ; Bd. 3), S. 554–562.

Ye, X. Y.; Ng, T. B. (2002): A new peptidic protease inhibitor from Vicia faba seeds exhibits antifungal, HIV-1 reverse transcriptase inhibiting and mitogenic activities. In: *J. Pept. Sci* 8 (12), S. 656–662.

Yuste, P.; Longstaff, M.; McCorquodale, C. (1992): The effect of proanthocyanidin-rich hulls and proanthocyanidin extracts from bean (Vicia faba L.) hulls on nutrient digestibility and digestive enzyme activities in young chicks. In: *Br. J. Nutr* 67 (1), S. 57–65.

Anhang

منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة | 联合国粮食及农业组织 | Food and Agriculture Organization of the United Nations | Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture | Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций | Organizacion de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion

Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italy Fax: +39 0657053152 Tel: +39 0657051 www.fao.org

Our Ref: A228/2011 Your ref:

AUTHORIZATION TO REPRODUCE FAO COPYRIGHT MATERIAL
AUTORISATION POUR REPRODUIRE DU MATERIAL COPYRIGHT DE LA FAO
AUTORIZACION PARA REPRODUCIR MATERIAL DE LA FAO PROTEGIDO POR DERECHOS

For publication in / *pour sa publication dans* / para su publicación en:

Bachelor thesis on pea, broad bean and lupin

Published by / *Publié par* / Publicado por:
Martin-Luther-University

Addressee / *Destinataire* / Destinario:

Katja Schulz
Landrain 47.1
06118 Halle, Saale
Germany

Specific FAO copyright material to be used / *Matériel copyright utilisé* / Material de la FAO protegido por derechos de propiedad intelectual que va a usarse:

FAOSTAT: data on yield, harvested area and production of pea, broad bean an lupin.

Conditions / *Conditions* / Condiciones:

1. **Due acknowledgement shall be made to the Food and Agriculture Organization of the United Nations (spelled out) and the source document shall be cited.** / *Il sera indiqué que le copyright en est la propriété de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (en toutes lettres) et le document original sera cité.* / Se indicará que los derechos de propiedad intelectual corresponden a la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (cuyo nombre se hará constar) y se citará el documento del que procede el material.

2. **Fee or royalty to be paid to FAO** / *Redevance à verser à la FAO* / Derechos que se pagarán a la FAO:

   NONE

Authorization granted / *Autorisation accordée* / Autorización concedida

Date: 10 November 2011

Stephen A. Dembner

Chief, Publishing Policy and Support Branch / *Chargé du sous-division des politiques et de l'appui en matière de publications/* Oficial encargado del Subdirección de Políticas y Apoyo en Materia de Publicación

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit „Ernährungsphysiologische und biofunktionelle Wirkungen von Inhaltsstoffen einheimischer Körnerleguminosen (Erbse, Ackerbohne, Lupine)“ selbstständig verfasst habe, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und sämtliche Zitate kenntlich gemacht habe. Weiterhin versichere ich, dass diese Arbeit in gleicher oder ähnlicher Fassung noch keinem anderen Studiengang als Prüfungsleistung vorgelegen hat.

Halle/Saale, den 30.11.2011 _____

Katja Schulz

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. Gabriele Stangl für die Überlassung des Themas und die fachliche Unterstützung bei der Anfertigung der Arbeit.

Die zugrundeliegende Literaturrecherche dieser Arbeit wurde von der Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen finanziell unterstützt. Dafür bedanke ich mich.

Frau Doktorandin Nadine Schmidt danke ich für das kritische Lesen des Manuskripts.

Meiner Familie, insbesondere meinen Eltern bin ich unglaublich dankbar für ihre Motivation und Unterstützung. Meinem Vater danke ich besonders für sein stets offenes Ohr und die mit auf den Weg gegebenen Anregungen.