

ENDBERICHT

Nährstoffanalyse von Lupinen mittels Nah-Infrarot Spektroskopie (NIRS)

Forschungsprojekt Nr. 01HS043

Laufzeit: 11.11.2002 – 15.12.2003

Projektleitung: Prof. Dr. A. Sundrum

Projektmitarbeiter: Christiane Jatsch

Karin Rübesam

Dr. P. Tillmann *

Fachgebiet Tierernährung und Tiergesundheit, Universität Kassel

* VDLUFA, Qualitätssicherung für NIRS/NIT Analytik, Kassel

2004

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung

Ferdinand-Lassalle-Straße 1

53175 Bonn

Tel.: 0228 6845-2900

Fax.: 0228 6845 2960

Fachgebiet Tierernährung und Tiergesundheit

Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften

Universität Kassel

Nordbahnhofstr. 1a

37213 Witzenhausen

Tel.: 05542/98 1710

Fax.: 05542/98 1581

Untersuchungen im Auftrag der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung

Unser herzlicher Dank gilt:

allen Landwirten, die uns Lupinenproben zur Verfügung gestellt haben,

den Saatzuchtfirmen Steinach, Kruse, Dr. Hege, der Südwestsaat und der Nordkorn Saat für die Beschaffung von Lupinenproben verschiedener Anbaujahre, unterschiedlicher Sorten und der drei botanischen Arten,

der Pflanzen-Züchtungs-Station Kosieczyn in Polen, die uns Gelbe und Weiße Lupinen beschafft haben,

der Landwirtschaftskammer Rheinland und der Öko-Korn-Nord für die Vermittlung von Lupinenproben,

der Universität Berlin und Göttingen, sowie dem Institut für ökologischen Landbau der FAL in Trenthorst für die Bereitstellung von Versuchsproben,

und nicht zuletzt den beiden studentischen Mitarbeiterinnen Ulrike Wilczek und Rebekka Schmidt für die hilfreiche Probenvorbereitung und Mithilfe bei der analytischen Durchführung.

Inhaltsverzeichnis

<u>1</u>	<u>Ziele und Aufgabenstellung des Projekts</u>	1
<u>1.1</u>	<u>Planung und Ablauf des Projekts</u>	1
<u>1.2</u>	<u>Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde</u>	2
<u>2</u>	<u>Material und Methoden</u>	8
<u>3</u>	<u>Ergebnisse</u>	13
<u>3.1</u>	<u>Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse</u>	15
<u>3.2</u>	<u>Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse</u>	22
<u>4</u>	<u>Zusammenfassung</u>	23
<u>5</u>	<u>Gegenüberstellung der ursprünglichen geplanten zu den tatsächlich</u>	
	<u>erreichten Zielen; ggf. mit Hinweisen auf weiterführende</u>	
	<u>Fragestellungen</u>	
	<u>und auf Möglichkeiten der Umsetzung oder Anwendung</u>	24
<u>6</u>	<u>Literaturverzeichnis</u>	25

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Rohnährstoffgehalte von heimischen Körnerleguminosen (g/kg TM).....	2
Tabelle 2	Gehalte der Körnerleguminosenproteine an ausgewählten limitierenden Aminosäuren im Vergleich zum Protein von Sojabohnen (mg/100g XP).....	3
Tabelle 3	Rohproteinverdaulichkeit von Körnerleguminosen.....	5
Tabelle 4	Energiegehalte von Körnerleguminosen.....	5
Tabelle 5	Verdaulichkeit einzelner Rohnährstoffe von Körnerleguminosen bei Geflügel.....	6
Tabelle 6	Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe und Energiegehalte verschiedener Lupinenarten für Schweine.....	7
Tabelle 7	Ergebnisse der nass-chemischen Weender Rohnährstoffanalyse (Mittelwert, Standardabweichung, Variationskoeffizient %, Min. und Max.)	13
Tabelle 8	Schwankungsbreite der Inhaltsstoffe und Güteparameter der Kalibrierung und der Validierung der Blauen Lupine (n = 50).....	15
Tabelle 9	Schwankungsbreite der Inhaltsstoffe und Güteparameter der Kalibrierung und der Validierung der Gelben Lupine (n = 50).....	17
Tabelle 10	Schwankungsbreite der Inhaltsstoffe und Güteparameter der Kalibrierung und der Validierung der Weißen Lupine (n = 50).....	17
Tabelle 11	Schwankungsbreite der Inhaltsstoffe und Güteparameter der Kalibrierung und der Validierung der Blauen, Gelben und Weißen Lupine.....	20
Tabelle 12	Vergleich der Güteparameter von den Validierproben der Blauen, Gelben und Weißen Lupine in einer Kalibrierung innerhalb der botanischen Art und in einer Gesamtkalibrierung.....	22
Tabelle 13	Gegenüberstellung der Ziele.....	24

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.....	Absorptionsbanden im NIR Bereich für unterschiedliche Verbindungen (FOSS, 1999).....	8
Abbildung 2	Absorptionsspektren von Blauen, Gelben und Weißen Lupinen.....	14
Abbildung 3	Graphische Darstellung der ersten drei Hauptkomponenten einer Population.....	14
Abbildung 4	YX- Graphik mit Regressionsgrade und Ausreißerschranken für die Validierproben der blauen Lupine.....	16
Abbildung 5	YX- Graphik mit Regressionsgrade und Ausreißerschranken für die Validierproben der gelben Lupine.....	18
Abbildung 6	YX- Graphik mit Regressionsgrade und Ausreißerschranken für die Validierproben der weißen Lupine.....	19
Abbildung 7	YX- Graphik mit Regressionsgrade und Ausreißerschranken für die Validierproben der Gesamtlupinen.....	21

Abkürzungen und Erläuterungen

ANF	Antinutritive Faktoren
anl.-Datei	In der anl.-Datei werden die Analyseergebnisse gespeichert.
bias	Ist der systematische Fehler, um den alle Proben im Durchschnitt falsch geschätzt werden. Es ist signifikant unterschiedlich von Null.
cal.-Datei	Die cal.-Datei beinhaltet die prozentualen Angaben der Inhaltsstoffe.
eqa.-Datei	Die eqa.-Datei beinhaltet alle Informationen, die zur Beschreibung eines Kalibrierungssatzes benötigt werden. Darin enthalten sind alle Wellenlängeninformationen, die Koeffizienten, die komplette statistische Information bis hin zu den mathematischen Gleichungen.
GH-Wert	Maß für den Abstand eines Messwertes vom absoluten Mittelpunktwert.
H-Wert	Mahalanobis-Distanz, Maß für die Verschiedenheit einer Probe vom Mittelwert einer Grundgesamtheit für den multivariaten Fall.
lib.-Datei	Die lib.-Datei beinhaltet die Faktorenwerte der Kalibrierproben. Darin enthalten sind die Labordaten der Kalibrierproben und die H-Werte.
Max.	Maximalwert
ME	Umsetzbare Energie
MJ	Mega-Joule
Min.	Minimalwert
MW	Mittelwert
n	Anzahl der Proben
NH-Wert	Maß für den Abstand eines Messwertes zum nächstgelegenen Wert, sogenannter Nachbarschaftswert.
NIRS	Nah-Infrarot-Reflexions-Spektroskopie
NSP	Nicht stärkehaltige Polysaccharide
nir.-Datei	Die nir.-Datei beinhaltet die Spektren
OM	Organische Masse
OR	Organischer Rest
pca.-Datei	Die pca.-Datei beinhaltet die Faktorenanalyse nach Hauptkomponenten. Darin enthalten sind die spektralen Informationen der Probe und die Varianz der Inhaltsstoffe.
R ²	Multiple Bestimmtheitsmaß, Information über die Wiederholbarkeit, Vergleichbarkeit und die mittleren Abweichungsquadrate.
sAS	schwefelhaltige Aminosäuren
SD	Standardabweichung
SEC	Standardfehler der Kalibrierung. Ist die Berechnung der Standardabweichung aller NIRS- Analyse-Proben von den Referenzwerten der Kalibrierproben.
SECV	Ist der Standardfehler der Kreuzvalidierung. Die Kreuzvalidierung wird durchgeführt, um eine Überanpassung, die während der Kalibrierung mit dem Verfahren der multivariaten Regression eintreten kann, zu vermeiden.
SEP	Standardfehler der Analyse, Maß der Standardabweichung aller NIRS-Analysewerte von den Referenzwerten für die Validierungsproben.
SEPC	Standardfehler der Analyse korrigiert um den systematischen Fehler.
Slope	Gibt die Steigung der Regressionsgrade an, dieser Wert sollte möglichst dicht bei 1 liegen.
TM	Trockenmasse
VK (%)	Variationskoeffizient (%), Koeffizient aus SD und MW
XA	Rohasche
XL	Rohfett

XF	Rohfaser
XS	Stärke
XZ	Gesamtzucker
XX	N-freie Extraktionsstoffe
1-VR	Bestimmtheitsmaß der Kreuzvalidierung, durch die Kreuzvalidierung erklärter Anteil der Variation an der gesamten Variation.

1 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts

Die Analysenwerte der Weender Rohnährstoffe weisen die Lupinen als ein wertvolles Futtermittel aus, welches geeignet ist, die Futterbasis und insbesondere die Rohproteinversorgung auf ökologisch und konventionell wirtschaftenden Betrieben maßgeblich zu erweitern. Allerdings weisen die Nährstofffraktionen sowohl innerhalb als auch zwischen den Lupinenarten eine erhebliche Variation auf. Die großen Schwankungen in den einzelnen Nährstofffraktionen mindern den Aussagegehalt von Tabellenwerten und unterstreichen die Notwendigkeit zur Durchführung von Futtermittelanalysen.

Eine zuverlässige Erfassung der wertgebenden Inhaltsstoffe von Lupinen ist von ausschlagender Bedeutung, um das Nutzungspotential dieser Futterpflanze zu optimieren und den Einsatz möglichst effizient und unter Vermeidung von Nährstoffimbilanzen zu gestalten. In der landwirtschaftlichen Praxis wird häufig aus Kostengründen von der Analyse zur Bestimmung der Rohnährstoffe und dem damit verbundenen gezielten Einsatz in der Rationsgestaltung unzureichend Gebrauch gemacht. Die Nah-Infrarot-Reflexions-Spektroskopie (NIRS) hat sich als eine zeit- und kostensparende Analysenmethode bewährt und ist geeignet, die Zurückhaltung der Landwirte gegenüber Nährstoffanalysen abzubauen. Bislang liegen keine wissenschaftlich gesicherten Kenntnisse über eine Kalibrierung mittels NIRS-Verfahren von Lupinen vor.

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung einer Kalibrierung für die einzelnen Rohnährstoffe von Blauen, Gelben und Weißen Lupinen anhand des NIRS-Verfahrens.

1.1 Planung und Ablauf des Projekts

Angesichts eines weltweit zunehmenden Bedarfes an Rohproteinträgern in der Fütterung und im Hinblick auf das Fütterungsverbot von Tiermehl in Europa kommt den heimischen Körnerleguminosen eine wachsende Bedeutung als Eiweißergänzungsfuttermittel zu. Kenntnisse über die Nährstoffzusammensetzung und die Gehalte an wertbestimmenden Aminosäuren sind für einen gezielten Einsatz in der Rationsgestaltung unerlässlich (ROTH-MAIER & KIRCHGESSNER, 1993; PETTERSON, 1998).

In der landwirtschaftlichen Praxis wird allerdings von einer Analyse der Rohnährstoffe häufig nur unzureichend Gebrauch gemacht (WAGNER, 2001). Dies dürfte u.a. in den vergleichsweise hohen Analysekosten der nass-chemischen Analyse begründet sein.

In den letzten Jahren hat sich die Nah-Infrarot-Reflexions-Spektroskopie (NIRS) als ein alternatives Analyse-Verfahren etabliert. Die Vorteile des Verfahrens liegen in der Schnelligkeit, der simultanen Untersuchung vieler Teilkomponenten und der Vermeidung von Umweltbelastungen durch Chemikalien und den niedrigen Betriebskosten (JANSSEN, 1995). Während für Ackerbohnen und Erbsen bereits die Möglichkeiten der preiswerten Analyse mittels des NIRS-Verfahrens bestehen, liegen für Lupinen noch keine Kalibrierungen vor.

Ziel des Untersuchungsvorhabens war die Entwicklung einer Kalibrierung für den Gehalt der Rohnährstoffe von Blauen, Gelben und Weißen Lupinen. Dabei konnte im Fachgebiet Tierernährung und Tiergesundheit der Universität auf ein NIRS-Gerät (FOSS 6500) und auf Erfahrungen bei der Kalibrierungen von Futtermitteln zurückgegriffen werden.

1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Das EU-weite Verbot des Einsatzes von Tiermehl in der Tierfütterung hat eine große Lücke bei der Eiweißversorgung landwirtschaftlicher Nutztiere hervorgerufen. Das Defizit wird auf ca. 200.000 bis 250.000 t Eiweiß geschätzt (EICHORN et al., 2000). Für den vollständigen Ersatz des Tiermeihls durch einheimische pflanzliche Rohproteinträger, wäre der Anbau von zusätzlichen 250.000 bis 300.000 ha Eiweißpflanzen erforderlich.

Das Protein der Sojabohne wird auch in Zukunft ein hochwertiger Lieferant für Aminosäure in der Futtermittelration sein. Eine Ausweitung des Anbaus heimischer Körnerleguminosen kann jedoch dazu beitragen, die Probleme bei der Proteinversorgung abzumildern (MEYER et al., 2001). Die Körnerleguminosen sind nicht nur als Ersatz für Tiermehl in der Tierfütterung bedeutsam. Durch den Anbau von Körnerleguminosen können relevante Mengen an Luftstickstoff im Boden fixiert und in der Nachfrucht ertragswirksam genutzt werden (RÖMER, 1996). Durch die Vorfruchtwirkung können beträchtliche Mengen an mineralischen Stickstoffdüngern eingespart und ein relevanter Beitrag zur Minimierung von Umweltbelastungen (u.a. Energieverbrauch bei der Produktion von Mineraldüngern) geleistet werden.

Gemäß der EG-Verordnung (EWG-Nr. 1804/1999) ist in der Ökologischen Tierhaltung der Einsatz von herkömmlichen Sojaextraktionsschrot und von synthetischen Aminosäuren nicht gestattet. Angesichts der Restriktionen beim Futterzukauf und des Verzichtes auf mineralischen Stickstoffdünger besteht hinsichtlich der Verfütterung von betriebseigenen Körnerleguminosen zur Ressourcennutzung und Schließung des Stickstoffkreislaufes eine systemimmanente Notwendigkeit (SUNDRUM, 1998).

Einsatzmöglichkeiten von heimischen Proteinträgern

Körnerleguminosen werden weltweit sowohl in der menschlichen wie der tierischen Ernährung als Proteinlieferant benutzt. Im gemäßigten Klimabereich können vor allem Ackerbohnen (*Vicia faba* L.), Erbsen (*Pisum sativum* L.) und Süßlupinen (*Lupinus spec.*) angebaut werden. Von den Lupinen existieren verschiedene Arten, die sich im Nährstoffgehalt beträchtlich unterscheiden.

Von den über 200 Arten der Lupinus sind bisher fünf domestiziert worden (PLARRE, 1999). Für den Einsatz in der Nutztierfütterung kommen bitterstoffarme, auch als Süßlupinen bezeichnete Formen der Weißen (*Lupinus albus* L.), Gelben (*Lupinus luteus* L.) und Blauen (*Lupinus angustifolius* L.) Lupinen in Betracht. Diese unterscheiden sich sowohl in ihren pflanzbaulichen Ansprüchen als auch in ihrem Futterwert. Die Rohnährstoffgehalte verschiedener Körnerleguminosen sind vergleichend in Tabelle 1 gegenübergestellt.

Tabelle 1 Rohnährstoffgehalte von heimischen Körnerleguminosen (g/kg TM)

Körnerleguminosen	XP (g)	XL (g)	XF (g)	XX (g)	XA (g)
Ackerbohne	285	15	95	565	40
Futtererbse	258	15	68	621	38
Gelbe Süßlupine	445	54	157	295	51
Weißer Süßlupine	390	90	110	365	45
Blaue Lupine	349	55	159	399	38

Quelle: JEROCH et al., 1993

Die mittleren Rohproteingehalte der Körnerleguminosen schwanken zwischen 250 und 500 g/kg TM. Dabei nehmen die Rohproteinanteile in der Reihenfolge Erbsen, Ackerbohnen und Lupinen zu. Die Gelbe Süßlupine (*Lupinus luteus*) weist mit ca. 445 g/kg TM im Durchschnitt einen höheren Rohproteingehalt auf als die Weiße Lupine (*Lupinus albus*) mit 390 g/kg TM und die Blaue Lupine mit 349 g/kg TM. Lupinen erzielen damit ähnlich hohe Rohproteingehalte wie die Sojabohne. Im Gegensatz zur Sojabohne enthalten Lupinen aber keine Trypsinhemmer (PLARRE, 1999). Das Protein der Körnerleguminosen besteht zu 10 bis 20 % aus Albuminen und zu 80 bis 90 % aus Globulinen (ABEL, 1996). JEROCH et al. (1993) halten das Protein der Körnerleguminosen aufgrund des Aminosäuremusters für wertvoller als das Getreideprotein. Die Anteile einzelner Aminosäuren im Rohprotein sind in der Tabelle 2 wiedergegeben.

Das Rohprotein von Körnerleguminosen hat einen relativ hohen Lysin-Gehalt. Er liegt bei Erbsen am höchsten, gefolgt von Sojabohnen und Ackerbohnen und am niedrigsten bei Lupinen. Die Gehalte an schwefelhaltigen Aminosäuren (sAS) sind bei allen Arten niedrig. Der Anteil von Methionin an den sAS beträgt bei Erbsen und Ackerbohnen ca. 40 % und bei Lupinen ca. 30 %. Es besteht eine negative Korrelation zwischen dem Rohproteingehalt im Futtermittel und dem Gehalt an wertgebenden Aminosäuregehalt im Protein, d.h. die Proteinqualität sinkt mit steigendem Rohproteingehalt (ABEL, 1996). Nach Angaben des Autors entsprechen die Aminosäuregehalte der Lupine dem Bedarf von Mastschweinen besser als die von Ackerbohnen und Erbsen.

Tabelle 2 Gehalte der Körnerleguminosenproteine an ausgewählten limitierenden Aminosäuren im Vergleich zum Protein von Sojabohnen (mg/100g XP)

Aminosäure	Soja- bohnen	Futter- erbsen	Acker- bohnen	Süßlupinen		
				Weißer	Gelber	Blaue
Lysin	6,4	7,0	6,3	4,7	5,1	4,8
Methionin	1,4	1,0	0,8	0,6	0,7	0,7
Methionin/Cystin	2,9	2,4	2,0	2,0	2,5	2,2
Threonin	4,0	3,8	3,5	3,8	3,2	3,5
Tryptophan	1,3	0,9	0,9	0,8	0,7	0,8

Quellen: ROTH-MEIER & KIRCHGESSNER, 1993; ABEL, 1996; DEGUSSA, 1996; BELLOF et al., 1997

Mit einem Rohfettanteil von bis zu 7 % können Lupinen als Eiweißfuttermittel mit beachtenswerter Energielieferung eingestuft werden (BELLOF et al., 1997). Die Lupinen, insbesondere die Weißen Lupinen, besitzen einen höheren Rohfettgehalt als Ackerbohnen und Erbsen. Die Anteile an gesättigten Fettsäuren sind mit ca. 20 % relativ niedrig (ABEL, 1996).

Ackerbohnen und Erbsen enthalten einen größeren Anteil an N-freien Extraktstoffen als Lupinen. Allgemein wird unterschieden zwischen stärkehaltigen und Nicht-Stärkehaltigen Polysacchariden (NSP) (ABEL, 1996). Der Stärkegehalt variiert in

Abhängigkeit von Sorten, Standort und Anbaujahr. Der NSP-Gehalt liegt bei Ackerbohnen und Erbsen bei ca. 20 % der TM, während er bei Lupinen über 40 % der TM beträgt (GDALA et al., 1995). Die NSP sind vor allem in den Schalen lokalisiert.

Antinutritive Faktoren (ANF)

Die in Körnerleguminosen enthaltenen antinutritiven Substanzen können auf den tierischen Stoffwechsel leistungsmindernd wirken (HEINZ et al., 1991; JEROCH, 1988; JEROCH et al., 1993; ABEL, 1996). Bedeutsam sind Alkaloide, Tannine, Lecitine und Protease-Inhibitoren.

Die hohen Gehalte an antinutritiven Inhaltsstoffen wirken sich in höheren Konzentrationen insbesondere bei Schweinen und Geflügel ungünstig aus. In erster Linie sind dies Alkaloide, die wegen ihres Geschmacks auch Bitterstoffe genannt werden. Diese Stoffe sind in den aktuellen Sorten durch die Pflanzenzüchtung so weit reduziert worden, dass die Verwertung des Lupinenkornes unbedenklich ist (ROTH-MAIER et al., 2002). Süßlupinen sollten höchstens 0,05 % Gesamtalkaloide enthalten. Allerdings sind erhebliche Unterschiede zwischen Sorten und Herkünften zu finden, die darüber hinaus standortabhängig sind.

Die Tannine bilden mit Proteinen und Kohlenhydraten stabile unverdauliche Komplexe im Verdauungstrakt und beeinträchtigen die Verdauungsenzyme (HEINZ et al., 1991; JEROCH et al., 1993; ABEL, 1996).

Lectine sind Proteine, die sich leicht mit Zuckerkomponenten zu Glycoproteinen verbinden. Durch diese Bindung werden die Zotten im Darm bei der Verdauung in ihrem Resorptionsvermögen beeinträchtigt. Schwere Verdauungs- und Stoffwechselstörungen können die Folge sein (HEINZ et al., 1991). Die Lectine befinden sich in den Kotyledonen. Erbsen sind lecitinreicher als Ackerbohnen, Lupinen sind dagegen lectinfrei (ABEL, 1996).

Protease-Inhibitoren sind Peptide, die stabile inaktive Verbindungen bilden können und dadurch die Aktivität von Trypsin und Chymotrypsin reduzieren. Folglich wird die Verdaulichkeit des Proteins bzw. die Resorption der Aminosäuren gemindert. Die Inhibitoren kommen bei Erbsen in den Kotyledonen und bei Ackerbohnen in den Kotyledonen und Schalen vor; bei Lupinen sind sie nur in geringen Mengen anzutreffen (HEINZ et al., 1991; JEROCH et al., 1993; ABEL, 1996).

Zu den Pyrimidin-Glycosiden zählen Vicin und Convicin, die nur in Ackerbohnen von Bedeutung sind. Sie werden mikrobiell im Verdauungstrakt gespalten. Die freigesetzten Aglycone können bei Legehennen die Eiqualität durch Blutflecken im Ei und die Eiggröße beeinflussen (HEINZ et al., 1991; ABEL, 1996).

Neben den Einflüssen von Standort und Anbaujahr besteht ein deutlicher genetischer Einfluss auf den Gehalt der antinutritiven Substanzen. Durch Züchtung konnte dieser erfolgreich reduziert werden (JEROCH et al., 1993; ABEL, 1996). Durch Autoklavieren, Extrudieren, Toasten oder Dampfpelletierung lassen sich antinutritive Substanzen zudem inaktivieren. Als praxisfreundliches Verfahren kommt die Pelletierung des Futters unter Verwendung von Wasserdampf in Frage. Durch Aufquellen der Körner und anschließendes Waschen wird dabei der Alkaloidgehalt erheblich reduziert.

Verdaulichkeit der Körnerleguminosen

Hülsenfrüchte werden von monogastrischen Tieren trotz der hohen Rohfaseranteile in den Körnern gut verdaut. Die scheinbare Verdaulichkeit liegt bei ca. 70 % beim Geflügel bzw. 80 bis 85 % bei Schweinen (JEROCH et al., 1993) (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3 Rohproteinverdaulichkeit von Körnerleguminosen

Tierart	Ackerbohnen (%)	Erbsen (%)	Gelbe Süßlupinen (%)	Weißer Süßlupinen (%)	Blaue Süßlupinen (%)
Schwein	80-85	88	87	86	88
Huhn	76-80	80-88	74	75-81	---

Quelle: JEROCH et al., 1993

Die energetische Futtermittelverwertung ist tierartabhängig. Für das Geflügel enthalten Erbsen, gefolgt von den Ackerbohnen und den Gelben Süßlupinen den höchsten Energiegehalt (JEROCH et al., 1993).

Tabelle 4 Energiegehalte von Körnerleguminosen

Tierart	Ackerbohnen (%)	Erbsen (%)	Gelbe Lupinen (%)	Weißer Lupinen (%)	Blaue Lupinen (%)
Schwein (MJ ME, BFS-korrigiert)	12,7	13,6	12,9	--	12,6
Huhn (MJ ME, N-korrigiert)	10,7	11,3	8,2 (nicht differenziert)		

Quelle: JEROCH et al., 1993

Die energetische Futtermittelverwertung ist tierartabhängig. Für das Geflügel enthalten Erbsen, gefolgt von den Ackerbohnen und den Gelben Süßlupinen den höchsten Energiegehalt (JEROCH et al., 1993).

Einsatzmöglichkeiten von Körnerleguminosen in der Geflügelfütterung

In der Geflügelernährung kommen Körnerleguminosen als Protein- und Energieträger zum Einsatz. Die Ackerbohnen und Erbsen besitzen einen hohen Gehalt an Kohlenhydraten während Lupinen einen hohen Gehalt an Rohfett aufweisen. Pflanzliche Gerüstsubstanzen werden allerdings von Geflügel sehr schlecht verwertet (ABEL, 1996).

Die Tabelle 5 zeigt, dass das Rohprotein der Körnerleguminosen für Geflügel hoch verdaulich ist. Buntblühende Sorten bei Ackerbohnen und Erbsen zeigen aufgrund ihres höheren Tanningehalts eine niedrigere Proteinverdaulichkeit als die weißblühenden Sorten.

Tabelle 5 Verdaulichkeit einzelner Rohnährstoffe von Körnerleguminosen bei Geflügel

Leguminosen	XP	Verdaulichkeit (%)		
		XL	XF	XX
Ackerbohnen				
bunt blühend	70-84	49-93	10-35	73-84
weiß blühend	81-90	75-96	34	81
Erbsen				
Saaterbsen	75-88	43-87		59-67 ¹⁾
Ackererbsen	64-80	75-80		71-78
Lupinen				
<i>L. albus</i>	25 ²⁾	75	21	56
<i>L. angustifolius</i>	78-86	76-94	0-18	0-32
<i>L. luteus</i>	87-90	65-96	0-13	0-85

¹⁾ XF + XX; ²⁾ Umsetzbarkeit

Quelle: ABEL, 1996

ROTH-MAIER & KIRCHGESSNER (1993) haben Legehennen mit Weißen Lupinen stufenweise bis 30 % in der Ration mit Zusatz von Enzymen von der 50. bis zur 75. Lebenswoche ohne negative Wirkung gefüttert und erreichten dieselbe Leistung wie die Kontrollgruppe ohne Lupinen. Die stimmte mit den Ergebnissen von PRINSLOO et al. (1992) überein, die ebenfalls bei einem Anteil von bis zu 30 % Lupinen in der Ration keinen signifikanten Effekt auf die Eiproduktion, die Eigröße, die Futterverwertung und die Eischalenstabilität feststellen konnten.

Einsatzmöglichkeiten von Lupinen in der Schweinefütterung

Beim Einsatz von Lupinen in der Schweineernährung sind sowohl die Proteinqualität (Aminosäurezusammensetzung, -absorbierbarkeit und -verwertbarkeit) als auch der Gehalt an antinutritiven Faktoren zu berücksichtigen. Die Verdaulichkeiten der Lupinen beim Schwein können zwischen und innerhalb der Arten und Sorten in weiten Bereichen variieren. Die scheinbare ileale Verdaulichkeit einzelner Aminosäuren wird in unterschiedlichen Ausmaßen von Tanningehalten beeinflusst (JANSMAN, 1993).

Die Aminosäuren der Lupinen werden im Ileum bis zu 90 % absorbiert (TAVERNER et al., 1983). Die Tabelle 6 zeigt die Verdaulichkeiten der Rohproteinstoffe und den Energiegehalt verschiedener Lupinenarten für Schweine.

Tabelle 6 Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe und Energiegehalte verschiedener Lupinenarten für Schweine

Parameter	<i>L. albus</i>	<i>L. angustifolius</i>	<i>L. luteus</i>
XP (%)	80-88	84-93	87-95
XL (%)	84-85	44-60	53-93
XF (%)	32-57	0-58	35-86
XX (%)	80-83	90-91	75-97
DE (MJ/kg TM)	15,5-16,5	-	15,2
ME (MJ/kg TM)	14,2-14,8	-	13,8-14,6

Quelle: ABEL, 1996

Aufgrund ihres hohen Proteingehaltes und relativ hoher Fettgehalte haben Lupinen eine große Bedeutung in der Schweinefütterung. Die Bitterstoffe (Alkaloide) in Lupinen konnten durch die Pflanzenzüchtung deutlich gesenkt werden. Alkaloide können jedoch die Futteraufnahme beeinträchtigen. Süßlupinen weisen sortenabhängig Gesamtalkaloidgehalte von 0,01 bis 0,1 % auf. Ein Alkaloidgehalt von bis zu 0,03 % in der Futtermischung wird für akzeptabel gehalten (BELLOF & SIEGHART, 1996). BÖHME (1988) tauschte bei Ferkeln Soja gegen Lupinen mit Ausgleich von Lysin ohne negativen Einfluss auf die Leistung aus. In einem Versuch mit Mastschweinen (30-100 kg) wurde Sojaextraktionsschrot teilweise gegen Süßlupinen ausgetauscht. Bei einem Anteil von 10 % Süßlupinen in der Anfangsmast und 15 % in der Endmast ergaben sich keine negativen Einflüsse auf die Mastleistung (BELLOF & SIEGHART, 1996).

Bei einem Versuch von ZETTL et al. (1995) wurden Sojaextraktionsschrot und Getreide ohne Supplementierung mit Aminosäuren durch 10 bzw. 20 % Lupinen ersetzt. Bei einem Anteil von 10 % Lupinen im Futter zeigten sich keine negativen Einflüsse auf die Mastleistung, während ein Einsatz von 20 % die tägliche Zunahme verringerte. Bei entsprechender Sortenwahl können Lupinen bis zu einem Anteil von 20 % in der Ration von Mastschweinen ohne nachteilige Wirkungen auf die Schlachtkörperqualität eingesetzt werden (CHEEKE & KELLY, 1989; ZETTL et al., 1995).

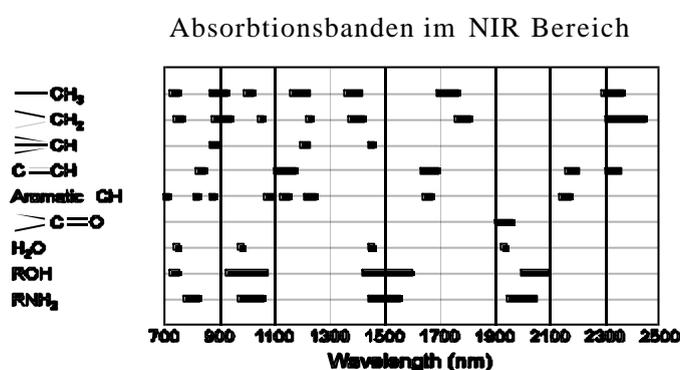
Darüber hinaus weisen Lupinen ein spezielles Aminosäuremuster auf, das sich für die Qualitätserzeugung von Schweinefleisch als relevant erweisen könnte. In Fütterungsversuchen, in denen Lupinen in Kombination mit Ackerbohnen und Erbsen eingesetzt wurden, konnte ein markanter Anstieg des intramuskulären Fettgehaltes im Muskelfleisch nachgewiesen werden (SUNDRUM et al., 2000). Es gibt Anlass zu der Annahme, dass dieser für den Genusswert des Fleisches maßgeblicher Faktor insbesondere durch das spezifische Verhältnis von essentiellen zu glukoplastischen Aminosäuren beeinflusst wird.

2 Material und Methoden

Nah-Infrarot-Spektroskopie (NIRS)

Die Nah-Infrarot-Spektroskopie ist ein Verfahren, bei dem durch Messung der Reflexion eine quantitative Bestimmung von Inhaltsstoffen einer Probe gewonnen wird. Es handelt sich dabei um ein indirektes Messverfahren, welches auf der Messung der optisch-physikalischen Eigenschaften der Untersuchungssubstanz basiert. Die zu untersuchende Probe wird im sichtbaren und nah-infraroten Licht bestrahlt und der diffuse reflektierte Strahlungsanteil in Abhängigkeit von der Wellenlänge gemessen. Die Intensität der durch die aufgenommene Lichtenergie ausgelösten Absorptionsbanden (Obertöne und Kombinationsschwingungen) lässt unter Anwendung einer geeigneten Kalibration auf den Gehalt der Inhaltsstoffe schließen.

Abbildung 1 Absorptionsbanden im NIR Bereich für unterschiedliche Verbindungen (FOSS, 1999)



Für die Entwicklung der NIRS-Kalibration ist eine breite Probenbasis erforderlich. Dazu müssen im Eichkollektiv Proben vorhanden sein, die von ihrer Zusammensetzung her alle zu erwartenden Möglichkeiten bei neu zu messenden Proben abdecken. Dies betrifft sowohl physikalische Merkmale wie zum Beispiel die Härte der Samenschale als auch die wechselnde chemische Zusammensetzung der einzelnen Nährstoffe. Entsprechend muss die Variabilität der Parameter ihren Niederschlag in der Kalibrierung finden.

Um eine breite Probenbasis zu gewährleisten und das angestrebte Spektrum von je 50 Blauen, Gelben und Weißen Lupinen zu erreichen, wurde mit Projektbeginn Kontakt zu verschiedenen Saatzuchtunternehmen und landwirtschaftliche Verbänden aufgenommen. Entgegen der ursprünglichen Erwartung war es zunächst sehr schwierig, auf eine entsprechende Probenzahl zu kommen. Hintergrund war, dass der Lupinenanbau im Jahr 2002 deutlich zurückgegangen war. Dies war vorrangig den schwierigen Anbauverhältnissen und der Sorge um Ertragsverluste aufgrund der weit verbreiteten Pilzkrankheit Anthracnose zuzuschreiben. Der Pilz wird in erster Linie mit dem Saatgut übertragen. Der Schaderreger befällt alle Lupinenarten, wobei Weiße und Gelbe Lupinen am stärksten und die Blaue Lupine am wenigsten anfällig sind. Aus diesem Grund wurden im vergangenen Jahr fast ausschließlich Blaue Lupinen angebaut. Nach intensiven Bemühungen konnte die anvisierte Probenzahl mit dem Erntegut des Jahres 2003 erreicht werden.

Die Proben entstammen verschiedenen Anbaugebieten (in erster Linie aus dem Saatanzuchtanbau) vorwiegend aus den Anbaujahren 2000 bis 2003. Das Probenmaterial wurde aus vier Ländern und von 29 Standorten bezogen und setzte sich aus insgesamt 24 Sorten zusammen.

Probenvermahlung

Für die Untersuchung musste das Probenmaterial vermahlen vorliegen. Ziel der Vermahlung ist es, ein feinkörniges, schüttfähiges und homogenes Mahlgut zu erreichen, bei dem auch die Samenhülle feinfaserig zermahlen ist. Alle 150 Lupinenproben (50 Blaue, 50 Gelbe und 50 Weiße Lupinen) wurden in einer RETSCH-Ultrazentrifugalmühle mit einem 2 mm Sieb vorgemahlen und danach mit einem 1 mm randverstärkten Sieb nachgemahlen. Zwischen den einzelnen Mahlgängen wurde die Mühle mit einem Spachtel und Druckluft gründlich gereinigt. Die Proben wurden in einem gut beschrifteten Behälter luftdicht verschlossen und in einem kühlen Raum (nicht Kühlschrankschrank oder Gefriertruhe) gelagert, so dass die Temperatur, die Zusammensetzung nicht beeinflussen konnte.

Referenzanalytik

Eine exakte Referenzanalytik ist die Voraussetzung für eine zuverlässige Kalibrierung. Die vorliegenden Futtermittelproben wurden mit den entsprechenden Methoden (VDLUFA, 1997) auf Trockenmasse (TM) und die Weender Rohrnährstoffe Rohasche (XA), Rohprotein (XP), Rohfett (XL) und Rohfaser (XF) untersucht. Die Stärke wurde polarimetrisch nach der Methode von Ewers bestimmt. Der Gesamtzucker wurde nach der Inversion-Reduktion-Methode nach Luff-Schoorl analysiert.

Trockenmasse (TM) nach VDLUFA 3.1

Die Trockenmasse ist die Differenz des Rohwassergehaltes zum Ausgangsmaterial (Frischmasse). Der Wassergehalt wird als Rohwassergehalt bezeichnet, da bei der Trocknung nicht nur Wasser, sondern auch flüchtige Fettsäuren, Alkohol, Ammoniak, ätherische Öle etc. entweichen. Weiterhin kann eine chemische Umsetzung z.B. Maillard – Reaktion erfolgen, die den Wassergehalt ebenfalls erhöht. Das Material wurde direkt im Trockenschrank bei 105°C getrocknet. Die Trockensubstanz wurde dann durch Differenzwägung ermittelt.

Rohprotein (XP) nach VDLUFA 4.1.1 (Kjeldahl)

Rohproteine werden in einfache und zusammengesetzte Eiweiße eingeteilt. Die zusammengesetzten Eiweiße werden als Proteine bezeichnet. Einfache Proteine bestehen aus Aminosäuren. Zusammengesetzte Proteine bestehen dagegen aus einem Proteinkomplex und anderen chemischen Verbindungen, wie z.B. Phosphorsäure, Farbstoffe und Zucker. Das Material wird auf nass-chemischen Wege aufgeschlossen. Der Salzsäure-Aufschluss findet mit Hilfe eines Katalysators und Wärme statt. Durch Zugabe von Lauge und Wärme wird Ammoniak freigesetzt. Dieser wird bei der Destillation abgetrennt, kondensiert und in einer bestimmten Menge einer bekannten Konzentration einer Säurevorlage eingeleitet. Die Stickstoffmenge wird durch Säure-Titration festgestellt. Der Stickstoffgehalt wird mit dem Faktor 6,25 multipliziert, um vom Stickstoff auf den Rohproteingehalt zu schließen.

Rohfett (XL) nach VDLUFA 5.1.1 (Soxhlet)

Die Rohfettbestimmung erfolgt durch Extraktion mit einem geeigneten organischen Lösungsmittel (n-Hexan). Ist Fett von Kohlehydraten oder Eiweißstoffen mechanisch

umschlossen oder Fettanteile chemisch oder absorptiv an andere Komponenten gebunden, wie z.B. bei den Lupinen, so muss nach der Weibull-Stoldt Methode verfahren werden. Die Probe wird nach einer Säurehydrolyse in eine Hydrolysefritte überfüllt und mit einem mit dem Lösungsmittel gefüllten Sammelbecher in eine Soxhlet-Apparatur eingesetzt. Die Trocknung erfolgt im Vakuumtrockenschrank.

Rohfaser (XF) nach VDLUFA 6.1.1

Die Rohfaser ist eine ausschließlich analytisch definierte Messgröße. Werden Säuren und Laugen als Aufschlussmittel eingesetzt, so besteht die Rohfaser hauptsächlich aus Cellulose, Pentosane, Lignin, Suberin, Cutin und Spurenelementen in nicht resorbierbaren Bindungsformen. Die Lupinenproben wurden in einem FOSS Fibertec M 1020 und 1021 extrahiert, im Trockenschrank getrocknet und im Muffelofen verascht.

Stärke (XS) nach VDLUFA 7.2.1 (Ewers)

Stärke liegt in unterschiedlichen Molekülen vor und besteht aus den Komponenten Amylose und Amylopektin. Ausgehend von der außerordentlich hohen spezifischen Drehung der Stärke, wird diese meist polarimetrisch bestimmt. Die Probe wird mit Säure gekocht und nach Enteiweißung mit den Fällungsmitteln Carrenz I und Carrenz II der Drehwinkel festgestellt. Da die Probe noch weitere optisch aktive Stoffe enthält, wie z.B. Saccharide wird ein sogenannter Blindwert mittels Alkohol durchgeführt. Dabei wird ebenfalls der Drehwinkel nach Entfernen löslicher und unlöslicher Stärke bestimmt und dieser von der ersten Messung subtrahiert.

Gesamtzucker (XZ) nach VDLUFA (Luff Schoorl)

Die Luff-Schoorl-Bestimmung beruht auf der reduzierenden Wirkung von Zucker. Glucose, Fructose, Lactose und Maltose sind die wichtigsten reduzierenden Saccharide. In alkalischer Lösung liegen sie als offenkettige Aldehyde bzw. Ketone vor und nicht in der stabilen Ringform. Die Probelösung wird mit einer definierten Menge Luff-Schoorl-Lösung zum Sieden gebracht. Dabei werden die Kupferionen reduziert. Nach dem Abkühlen, werden die nicht reduzierten Kupferionen mit Thiosulfat titriert.

Bei der Kalibrierung der NIRS-Analytik sind folgende Teilschritte erforderlich. Die mittels nass-chemischer Analyse (Weender-, Ewers und Luff-Schoorl-Analyse) im Hinblick auf die Rohnährstoffe untersuchten Proben werden parallel einer Analyse mit der Nah-Infra-Rot-Spektroskopie unterzogen. Mit dem NIRS-Gerät (FOSS 6500) werden 1050 Datenpunkte im sichtbaren (400-700 nm) und im Nah-Infrarot-Bereich (700–2500 nm) aufgenommen. Die Information der Spektren werden in einer NIRS-Spektren-Datei gespeichert. In einer weiteren Datei werden die Ergebnisse der Referenzanalytik eingegeben. Danach erfolgt die Entwicklung der Kalibrierung, in dem eine Auswahl von Proben aus der Referenzanalytik über die multiple lineare Regression mit den NIRS-Spektren in Beziehung gesetzt wird. Aus den Berechnungen resultiert eine Regressionsgleichung, mit der eine Kreuzvalidierung vorgenommen werden kann. Eine fundierte Validierung der Kalibrierung erfordert eine in Abhängigkeit von der Variation hinreichende Zahl von Referenzproben.

Im Fall von Transmissionsmessungen an Flüssigkeiten wird in der Spektroskopie mit dem Lambert-Beerschen Gesetz gearbeitet. Das Lambert-Beersche Gesetz ist nach den beiden Wissenschaftlern Johann Heinrich Lambert (1728 – 1777) und August Beer (1825 – 1863) benannt. Lambert entdeckte die Abhängigkeit von Schichtdicke und transmittiertem Licht und Beer die Abhängigkeit der Konzentration des Absorbanten vom transmittiertem Licht. Da in der Nah-Infrarot Spektroskopie (NIRS) Feststoffe in Reflexion untersucht werden, gilt das Lambert-Beersche Gesetz nicht

uneingeschränkt. Dennoch ist dieses Gesetz die Grundlage der modernen Spektroskopie. Für die Kalibrationsentwicklung wird die Wellenlänge gesucht, an der der zu bestimmende Inhaltsstoff absorbiert wird. Danach wird der Absorptionskoeffizient für diesen Inhaltsstoff an dieser Wellenlänge berechnet. So kann aus den Spektren der zu untersuchenden Proben die Konzentration der gewünschten Inhaltsstoffe ermittelt werden. Auf Grund praktischer Erfahrungen wird von folgender Formulierung des Lambert-Beerschen Gesetzes ausgegangen (TILLMANN, 1996; 2000):

$$A_l = \log(1/R_l) = c * E_l * l$$

A_l = Absorption

R_l = Reflexion

c = Konzentration der absorbierenden Verbindung in der Probe

E_l = Extinktionskoeffizient der absorbierenden Verbindung an der Wellenlänge

l = Weglänge des Lichtes in der Probe

NIRS-Messung

Die Untersuchungen wurden mit dem NIRS-Gerät (FOSS 6500) durchgeführt. Bei diesem NIRS-Gerät werden alle 2 nm Datenpunkte aufgenommen und abgespeichert, so dass bei einer Kalibrationsentwicklung nach Wellenlänge in einem Wellenlängenbereich von 1100 – 2500 nm 700 Datenpunkte zur Verfügung stehen.

Am NIRS-Gerät wurde alle 3 Tage eine dreiteilige Gerätekontrolle durchgeführt:

- Instrument Response (Messung der absoluten Reflexion von der Keramik, Überprüfung der Lampe und des Detektors),
- NIR Repeatability - (Messung der Wiederholbarkeit),
- Wavelength Accuracy (Messung der Wellenlängengenauigkeit).

Jeweils zwei Rechteckzellen (Fenster 56 * 47 mm) wurden mit der gemahlene Probe gefüllt und mit einem Pappdeckel verschlossen. Für jede Probe wurde eine Doppelbestimmung durchgeführt.

Die FOSS ISI Software setzt Grenzwerte für die Funktionstüchtigkeit des NIRS-Gerätes, so dass bei auffälligen Werten eine weitere Geräteüberprüfung erforderlich wird. Ferner wurde mit dem Gerät eine Standardzelle (Check cell) geliefert, die zur täglichen Kontrolle der NIRS-Funktionen dient. Zulässig ist eine maximale Abweichung des Analysenwertes von 0,3 % für XP und 0,1 % für TM und XL. Werden diese Werte nicht erreicht, bedarf es weiterer Prüfungen.

Kalibrationserstellung

Die Kalibrationsgleichungen wurden mit Hilfe der ISI-Software (FOSS) erstellt. Folgende Dateitypen kamen zur Anwendung:

anl.-Datei Datei in der die Analyseergebnisse gespeichert werden.

cal.-Datei Die cal.-Datei beinhaltet die prozentualen Angaben der Inhaltsstoffe.

eqa.-Datei Die eqa.-Datei beinhaltet alle Informationen, die zur Beschreibung eines Kalibrierungssatzes benötigt werden. Darin enthalten sind alle Wellenlängeninformationen, die Koeffizienten, die komplette statistische Information bis hin zu den mathematischen Gleichungen.

lib.-Datei Die lib.-Datei beinhaltet die Faktorenwerte der Kalibrierproben. Darin enthalten sind die Labordaten der Kalibrierproben und die H-Werte.

nir.-Datei Die nir.-Datei beinhaltet die Spektren.

pca.-Datei Die pca.-Datei beinhaltet die Faktorzerlegung nach Hauptkomponenten. Darin enthalten sind die spektrale Information der Probe und die Varianz der Inhaltsstoffe (TILLMANN, 1996; 2000).

Um eine funktionstüchtige Kalibrierung zu erstellen, wurden Spektren von allen Proben aufgenommen und in der nir.-Datei gespeichert. Es wurden die Standardeinstellungen der ISI-Software benutzt:

- Kalibrieren in 2. Ableitung (2,4,4,1),
- Streulichtkorrektur (SNV and detrend),
- Kreuzvalidierung,
- Speicherung jedes 8. Datenpunktes (Wellenlänge. 1108 – 2492),
- 1 Ausreißerdurchgang.

Aus der nir.-Datei und cal.-Datei wurde die pca.-Datei und lib.-Datei entwickelt. Diese vier Dateien waren die Basis für die eqa.-Datei, bei welcher die unterschiedlichen Spektren- und Datentransformationen ausprobiert wurden. Für die Entwicklung der eqa.-Datei wurde das Verfahren der Vollspektrenbasis gewählt. Bei diesem Regressionsverfahren dient die pca.-Datei dazu, die Information in den Spektren zu einer Datenreduktion zu verarbeiten.

Der große Vorteil der Regression nach einer Hauptkomponentenzerlegung ist die Reduktion von überflüssiger Information und gleichzeitig die Nutzung aller in den Spektren enthaltenen Informationen. Praktische Vorteile sind vor allem bei komplexen Inhaltsstoffen zu erwarten, die nicht durch eine klar definierte Molekülbindung bestimmt sind, z.B. die Rohfaser (TILLMANN, 2000).

Güteparameter der Kalibration

Die Güte der Korrelation zwischen den Referenzdaten und der NIRS-Vorhersage wird vor allem durch das Bestimmtheitsmaß (R^2) charakterisiert. Darüber hinaus wird die Genauigkeit der spektroskopischen Messergebnisse durch folgende Kenngrößen beschrieben:

- Standardfehler der Kalibrierung (SEC).
Dieser Wert sollte möglichst klein sein. Er kann verringert werden, indem mehrere Abschnitte (Termen) in die Kalibrierungsgleichung eingebracht werden. Der SEC kann nicht kleiner sein als der Fehler der Referenzanalytik und dieser hängt wiederum vom Probenmaterial und vom Inhaltsstoff ab.
- Multiples Bestimmtheitsmaß (R^2)
Dieser Wert sollte zwischen 0,6 und 0,9 liegen. Je näher die Werte an 1 liegen, um so besser wird die Variation der Kalibrierung im Kalibriersatz erklärt. Das Bestimmtheitsmaß ist sehr von der Streuung der untersuchten Proben und deren Merkmale abhängig.
- Standardfehler der Kreuzvalidierung (SECV)
Dieser Wert ist immer etwas größer als der SEC-Wert und wird ebenfalls mit steigender Termenzahl geringer.
- Bestimmtheitsmaß der Kreuzvalidierung (1-VR)
Dieser Wert kann auch negativ sein.
- Systematischer Fehler (bias)
- Ist der systematische Fehler, um den alle Proben im Durchschnitt falsch geschätzt werden. Unter bias versteht man den signifikanten Unterschied von Null.
- Steigung der Regressionsgraden (Slope)
- Die Steigung der Regressionsgraden sollte möglichst dicht bei 1 liegen.

3 Ergebnisse

Die mittels nass-chemischer Analyse ermittelten Ergebnisse der Weender Rohnährstoffe sind in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7 Ergebnisse der nass-chemischen Weender Rohnährstoffanalyse (Mittelwert, Standardabweichung, Variationskoeffizient %, Min. und Max.)

	TM	XA	XP	XL	XF	XS	XZ
	(g)	(g/kg TM)					
Blaue MW	901,2	37,1	338,6	71,6	157,1	77,2	55,4
Lupine SD	6,8	2,5	25,6	10,0	8,7	11,3	4,6
(n = 50) VK (%)	0,8	6,7	7,6	14,0	5,5	14,6	8,3
Min.	878,5	33,1	277,2	50,6	141,3	51,9	46,3
Max.	911,1	44,5	398,9	95,0	173,9	101,4	68,0
Gelbe MW	907,1	52,8	440,4	70,1	145,4	35,1	68,8
Lupine SD	9,1	3,4	28,9	7,1	14,5	8,3	11,6
(n = 50) VK (%)	1,0	6,4	6,6	10,1	10,0	23,6	16,9
Min.	889,2	46,2	318,2	53,7	122,4	14,4	27,8
Max.	922,2	63,6	491,3	86,3	191,3	56,2	97,1
Weißer MW	911,9	40,0	362,5	116,1	132,5	67,0	87,9
Lupine SD	9,4	4,7	25,8	12,4	14,3	13,3	9,0
(n = 50) VK (%)	1,0	11,8	7,1	10,7	10,8	19,8	10,2
Min.	890,3	30,8	300,0	85,8	106,8	41,4	70,3
Max.	941,8	48,7	422,1	152,8	166,7	92,2	116,8

Mit 440,4 g/kg TM wies die Gelbe Lupine den höchsten mittleren Rohproteingehalt auf. Demgegenüber fielen die Rohproteingehalte der Weißen (362,5 g/kg TM) und der Blauen Lupine (338,6 g/kg TM) deutlich ab. Auch innerhalb der jeweiligen Lupinenart schwankten die Rohproteingehalte beträchtlich. Die Variationen im Rohproteingehalt ließen eine eindeutige Zuordnung von Einzelproben zu den Lupinenarten anhand der Rohproteingehalte nicht zu.

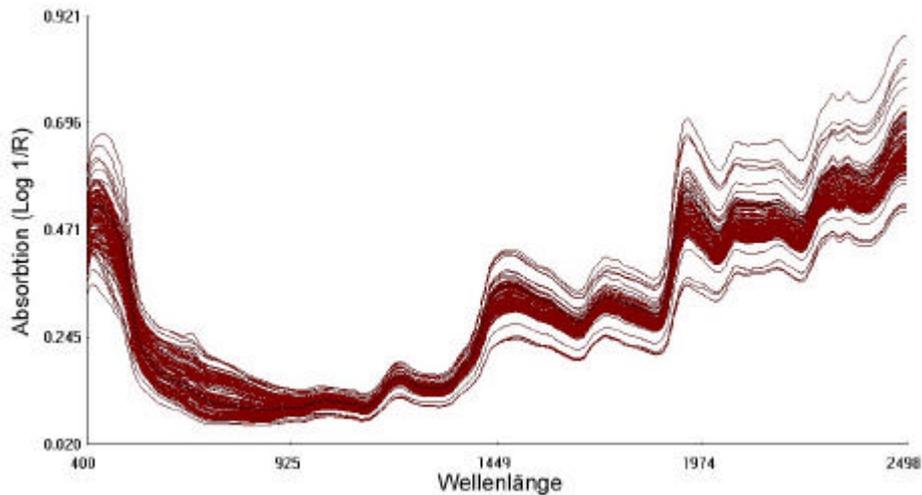
Die höchsten Gehalte an Rohfett wurden bei der Weißen Lupine (116,1 g/kg TM) ermittelt. Die geringe Überlappung mit den beiden anderen Lupinenarten weist den hohen Fettgehalt als ein Charakteristikum der Weißen Lupine aus.

Die Gehalte an Rohfaser lagen in dem für Lupinen typisch hohen Bereich. Die Unterschiede zwischen den Lupinenarten und innerhalb der Arten waren gegenüber der Variation in anderen Rohnährstoffen vergleichsweise gering.

Die Weiße Lupine enthielt die höchsten mittleren Gehalte an Stärke und Zucker. Die Unterschiede zwischen und innerhalb der Arten waren beträchtlich. Auffällig war der geringe Stärkegehalt bei den Proben der Gelben Lupine, welches als ein Charakteristikum dieser Lupinenart gewertet werden kann. Aus den Analyseergebnissen von Rohfett und Stärke kann in Verbindung mit dem Rohproteingehalt mit einer an Sicherheit grenzenden Wahrscheinlichkeit auf die botanische Art einer unspezifischen Lupinenprobe rückgeschlossen werden.

Die NIR-Absorptionsspektren der untersuchten Lupinenproben sind in Abbildung 2 graphisch dargestellt.

Abbildung 2 Absorptionsspektren von Blauen, Gelben und Weißen Lupinen (n=150)



Die Absorptionsspektren der einzelnen Proben lagen eng beieinander. Dies galt insbesondere für den Wellenlängenbereich von 925 bis 1400 nm. Es bestand eine weitgehende Überlappung zwischen den Spektren der Blauen, Gelben und Weißen Lupinen.

Hauptkomponentenzerlegung der Lupinenproben

Bei der Kalibrierung wurde die Hauptkomponentenanalyse auf der Basis der Spektren aus der Abbildung 2 berechnet. Dabei wurden die Proben, die zwischen den Wellenlängen hochgradig korrelierten, zu einem Faktor (Hauptkomponente) zusammengefasst. Der Prozess wurde iterativ wiederholt. In Abbildung 3 sind die ersten drei Hauptkomponenten graphisch dargestellt.

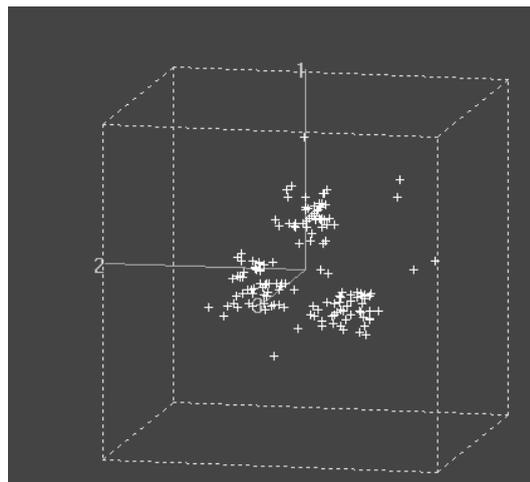


Abbildung 3 Graphische Darstellung der ersten drei Hauptkomponenten einer Population

Die Darstellung zeigt deutlich drei Kugelwolken. Oben in der Mitte sind alle Proben der Gelben Lupine angesiedelt, unten links alle Proben der Blauen Lupine und unten

rechts alle Proben der Weißen Lupine. Die bekannten Unterschiede zwischen den Lupinenarten lassen sich somit im NIRS-Spektrum in den ersten drei Hauptkomponenten klar wiederfinden. Als Ursache können die stofflichen Unterschiede in den Protein-, Fett-, Fasergehalten vermutet werden.

3.1 Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

Die Tabelle 8 gibt einen Überblick über die Schwankungsbreite der Inhaltsstoffe und über die Güteparameter der Kalibration der Blauen Lupine. Die Regressionsgraden und Ausreißerschranken für die Validierproben sind in Abbildung 4 graphisch dargestellt.

Tabelle 8 Schwankungsbreite der Inhaltsstoffe und Güteparameter der Kalibrierung und der Validierung der Blauen Lupine (n = 50)

Blaue Lupine Inhaltsstoffe	Kalibrierung					Validierung				
	N	SEC	R ²	SECV	1-VR	SEP	SEP (C)	R ²	bias	Slope
TM (87,9 – 91,1)	40	0,11	0,97	0,18	0,93	0,25	0,26*	0,98	-0,04	0,76
XP (27,7 – 39,9)	37	0,38	0,98	0,72	0,92	0,78	0,70	0,90	-0,42	1,24
XL (5,1 – 9,5)	40	0,20	0,97	0,38	0,88	0,56	0,47	0,63	-0,33*	0,58
XF (14,1 – 17,4)	40	0,46	0,73	0,51	0,67	0,90	0,91*	0,00*	-0,23	-0,04
XS (5,2 – 11,1)	39	0,28	0,95	0,62	0,74	0,88	0,43	0,64	0,78*	0,88
XZ (4,6 – 6,8)	38	0,37	0,10	0,38	0,05	0,61	0,63*	0,02*	0,12	-0,48

In den Kalibrierungssatz gingen die ersten 40 Proben und in den Validierungssatz die Proben 41 bis 50 ein. Während für die Trockenmasse (TM), Rohprotein (XP), Rohfett (XL) und für die Stärke (XS) ein hohes Bestimmtheitsmaß (0,98 – 0,95) ermittelt werden konnte, bricht die Validierung bei der Rohfaser ($R^2 = 0,73$) und bei dem Gesamtzucker ($R^2 = 0,10$) ein.

Aus den Güteparametern der Kalibrierung für die Blaue Lupine wird gefolgert, dass mit der eingesetzten Probenzahl kein hinreichender Aussagegehalt bezüglich der Inhaltsstoff-Bestimmung mittels des NIRS-Verfahrens gegeben ist.

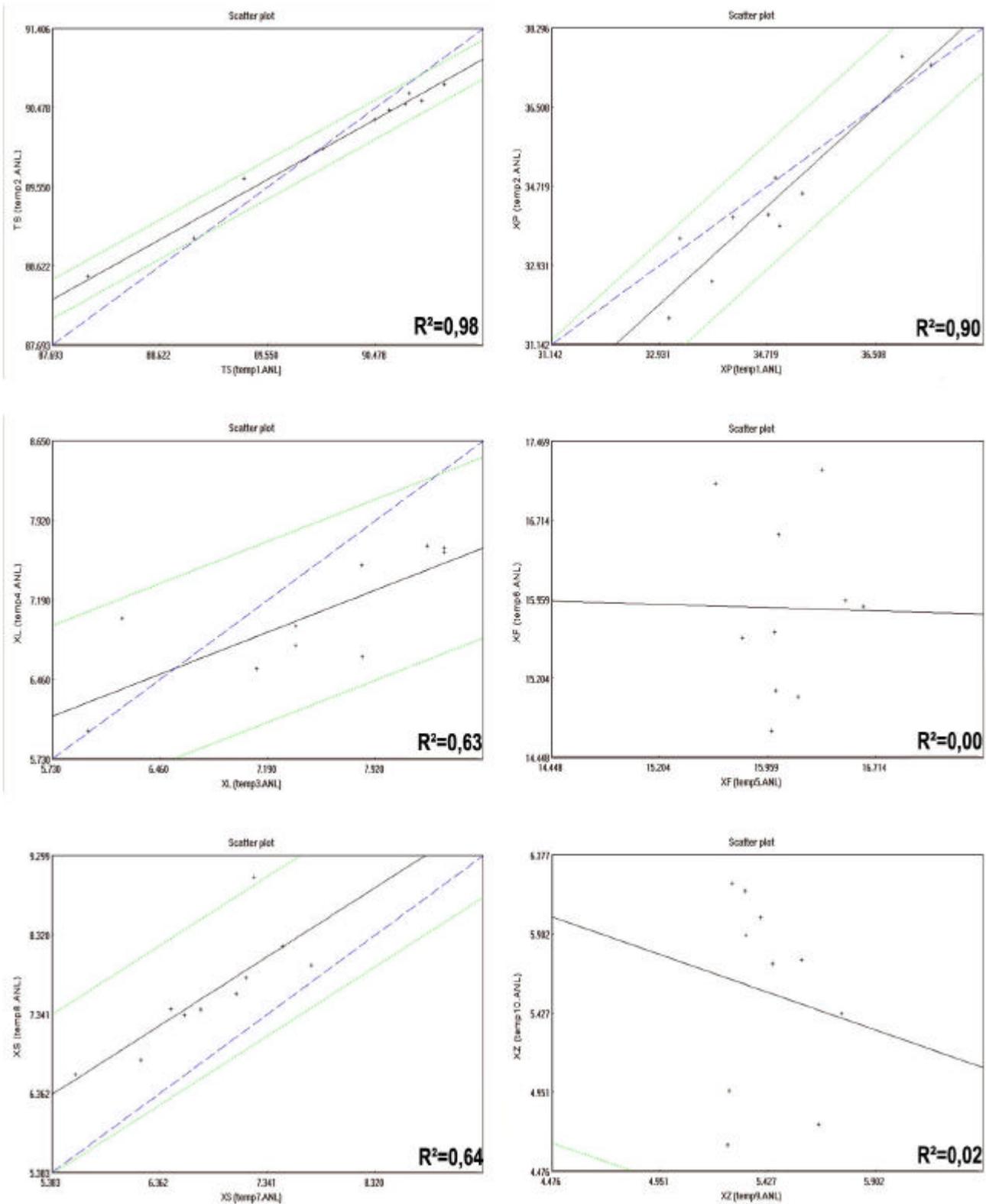


Abbildung 4 YX- Graphik mit Regressionsgrade und Ausreißerschranken für die Validierproben der Blauen Lupine

Die Schwankungsbreite der Inhaltsstoffe und die Güteparameter der Kalibrierung der Gelben Lupine sind in Tabelle 9 wiedergegeben. Die Regressionsgraden und Ausreißerschranken für die Validierproben sind in Abbildung 5 graphisch dargestellt.

Tabelle 9 Schwankungsbreite der Inhaltsstoffe und Güteparameter der Kalibrierung und der Validierung der Gelben Lupine (n = 50)

Gelbe Lupine Inhaltsstoffe	Kalibrierung					Validierung				
	N	SEC	R ²	SECV	1-VR	SEP	SEP (C)	R ²	bias	Slope
TM (88,9 – 92,2)	40	0,24	0,92	0,57	0,56	0,93	0,39	0,64	-0,85*	0,71
XP (31,8 – 49,1)	40	0,37	0,99	1,03	0,89	0,29	0,30	0,95	-0,01	0,93
XL (5,4– 8,6)	39	0,21	0,90	0,24	0,88	0,23	0,21	0,89	-0,11	1,15
XF (12,2 – 19,1)	39	0,48	0,89	0,73	0,75	0,87	0,72	0,76	0,54*	1,01
XS (1,4 – 5,6)	40	0,85	0,09	0,90	0,03	0,60	0,45	0,10*	-0,43	1,01
XZ (2,8 – 9,7)	40	1,08	0,23	1,27	-0,05	0,96	0,89	0,00*	0,46	0,11

Durch Einhalten gleicher Kalibrierfunktionen fiel durch einmaliges Eliminieren auf der Basis der GH-Werte beim Rohfett und bei der Rohfaser jeweils eine Probe für den Kalibriersatz heraus. Für Stärke und Gesamtzucker war keine funktionstüchtige Kalibrierung möglich. Aus den Ergebnissen der Kalibrierung und Validierung folgt, dass die Bestimmung von Stärke und Gesamtzucker mit einem deutlich eingeschränktem Aussagegehalt behaftet ist.

Die Schwankungsbreite der Inhaltsstoffe und die Güteparameter der Kalibrierung der Weißen Lupine sind in Tabelle 10 wiedergegeben. Die Regressionsgraden und Ausreißerschranken für die Validierproben sind in Abbildung 6 graphisch dargestellt.

Tabelle 10 Schwankungsbreite der Inhaltsstoffe und Güteparameter der Kalibrierung und der Validierung der Weißen Lupine (n = 50)

Weiße Lupine Inhaltsstoffe	Kalibrierung					Validierung				
	n	SEC	R ²	SECV	1-VR	SEP	SEP (C)	R ²	bias	Slope
TM (89,0 – 94,2)	40	0,56	0,65	0,57	0,67	0,42	0,39	0,81	0,19	1,02
XP (30,0 – 42,2)	40	0,53	0,96	0,59	0,95	0,85	0,82*	0,67	-0,33	0,81
XL (8,6 – 15,3)	40	0,19	0,98	0,32	0,94	0,30	0,28	0,94	0,14	1,06
XF (10,7 – 16,7)	40	0,47	0,91	0,68	0,80	0,72	0,75	0,41*	0,12	0,63
XS (4,1 – 9,2)	40	1,21	0,09	1,23	0,08	1,80	0,94	0,01*	1,56*	-1,00*
XZ (7,0 – 11,7)	40	0,58	0,62	0,71	0,43	0,75	0,61	0,31*	-0,48*	0,91

Bei nahezu identischen Kalibrierungseigenschaften fielen für den Kalibrierungssatz keine Proben heraus. Für die Weiße Lupine war keine Kalibrierung für die Stärke möglich. Die Validierung zeigte Schwächen im multiplen Bestimmungsmaß bei der Rohfaser, der Stärke und dem Gesamtzucker. Es besteht die Notwendigkeit, weitere Proben in die Kalibrierung einzubeziehen.

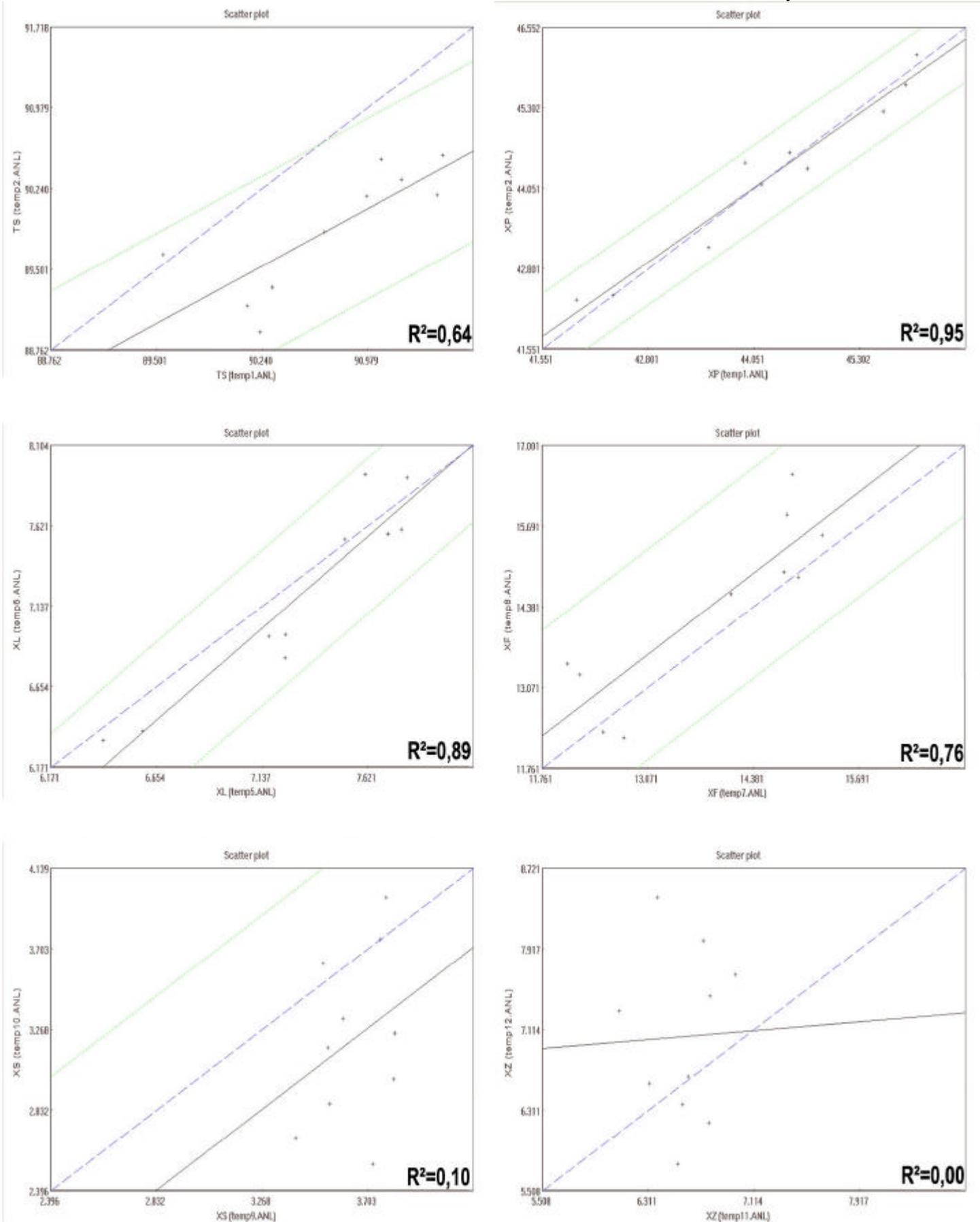


Abbildung 5 YX- Graphik mit Regressionsgrade und Ausreißerschranken für die Validierproben der Gelben Lupine

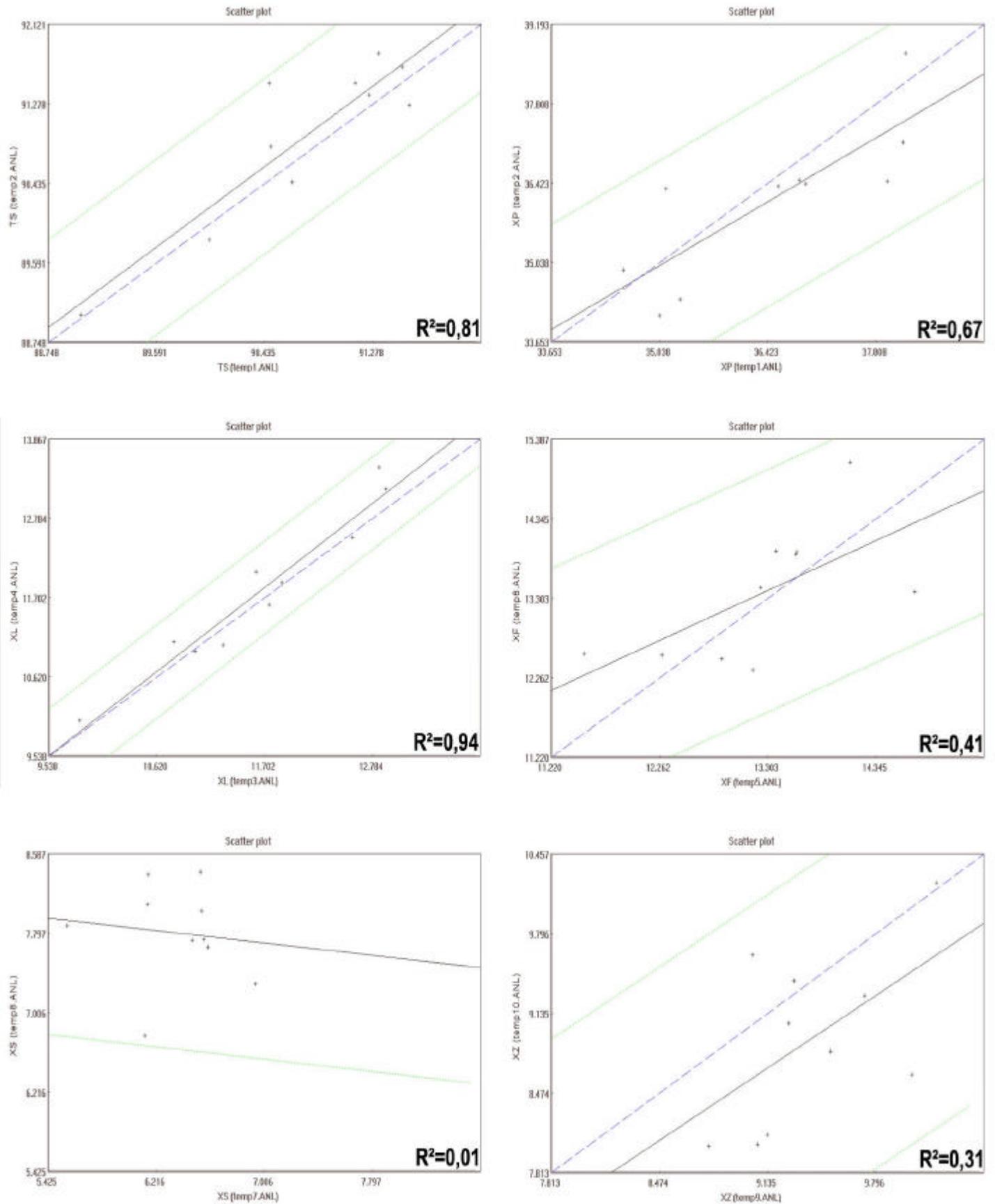


Abbildung 6 YX- Graphik mit Regressionsgrade und Ausreißerschranken für die Validierproben der Weißen Lupine

Die Schwankungsbreite der Inhaltsstoffe und die Güteparameter der Kalibrierung der Blauen, Gelben und Weißen Lupine in der Gesamtkalibrierung sind in Tabelle 11 wiedergegeben. Die Regressionsgraden und Ausreißerschranken für die Validierproben sind in Abbildung 7 graphisch dargestellt.

Tabelle 11 Schwankungsbreite der Inhaltsstoffe und Güteparameter der Kalibrierung und der Validierung der Blauen, Gelben und Weißen Lupine

Gesamt Inhaltsstoffe	Kalibrierung					Validierung				
	n	SEC	R ²	SECV	1-VR	SEP	SEP (C)	R ²	bias	Slope
TM (87,0 – 94,2)	109	0,54	0,58	0,56	0,55	0,56	0,49	0,69	-0,29	0,96
XP (27,7 – 49,1)	103	0,56	0,99	0,67	0,98	0,69	0,67	0,98	-0,20	1,02
XL (5,1 – 15,3)	111	0,42	0,97	0,43	0,97	0,37	0,36	0,98	0,11	1,01
XF (10,7 – 19,1)	103	0,50	0,91	0,73	0,80	1,11	1,05*	0,59*	0,42	0,74
XS (1,4 – 10,1)	112	1,01	0,77	1,04	0,75	1,16	1,06	0,93	0,50	1,55
XZ (2,8 – 11,7)	105	0,54	0,88	0,66	0,81	0,76	0,77	0,76	-0,08	1,03

Die Gesamtkalibrierung enthält für den Kalibrierungs- und für den Validierungssatz alle Proben der jeweiligen botanischen Arten. Bei den Kalibrierungs- und den Validierungsproben wurde ein zufriedenstellendes multiples Bestimmungsmaß erreicht, welches bei der Validierung durch weitere Proben bei der Rohfaser noch verbessert werden könnte.

Das Bestimmtheitsmaß bei der Kalibrierung der Inhaltsstoffe der Weender-Analyse bewegte sich zwischen 0,58 und 0,99, was für eine ausreichende Vorhersagegenauigkeit spricht. Hinsichtlich der Stärke konnte nur für die Kalibrierung innerhalb der botanischen Art der Blauen Lupine und die Gesamtkalibrierung ein gutes Bestimmtheitsmaß von 0,77 und 0,99 erreicht werden. Dagegen lag das Bestimmtheitsmaß für die Gelbe und Weiße Lupine innerhalb der botanischen Art nur bei 0,09. Auch der Gesamtzucker hatte ein nicht im Limit liegendes Bestimmtheitsmaß innerhalb der Blauen und Gelben Lupine. Nur innerhalb der Weißen Lupine konnte mit $R^2 = 0,62$ und bei der Gesamtkalibrierung mit $R^2 = 0,88$ ein akzeptables Ergebnis erzielt werden.

Das Bestimmtheitsmaß der Validierung für alle Inhaltsstoffe war bei der Gesamtkalibrierung mit 0,59 bis 0,98 zufriedenstellend. Die Kalibrierung für die jeweiligen Art sollte dagegen durch eine Erhöhung der Probenzahl verbessert werden. Dies gilt insbesondere für die Güteparameter, die in der Tabelle 12 mit einem Sternchen * versehen wurden.

Aus den Güteparametern der Validierung geht hervor, dass sich zur sofortigen Nutzung die Gesamtkalibrierung am besten eignet. Außerdem ist es für die Wartung und Pflege von Kalibrierungen zeitsparender, wenn nur eine Kalibrierung besteht.

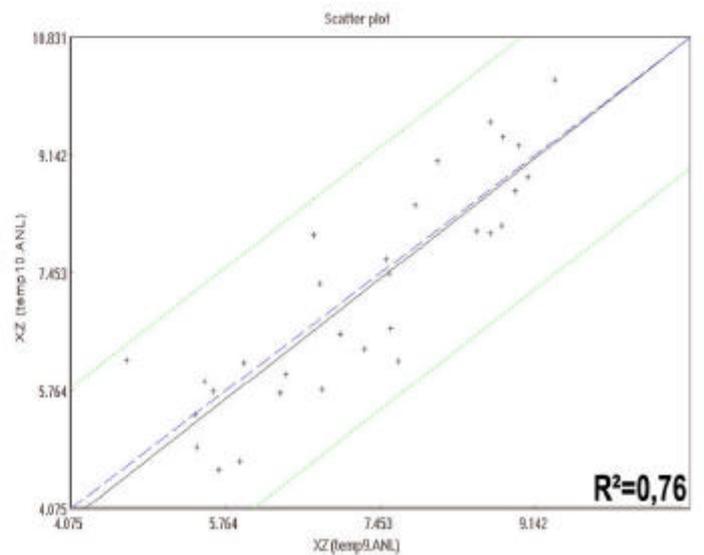
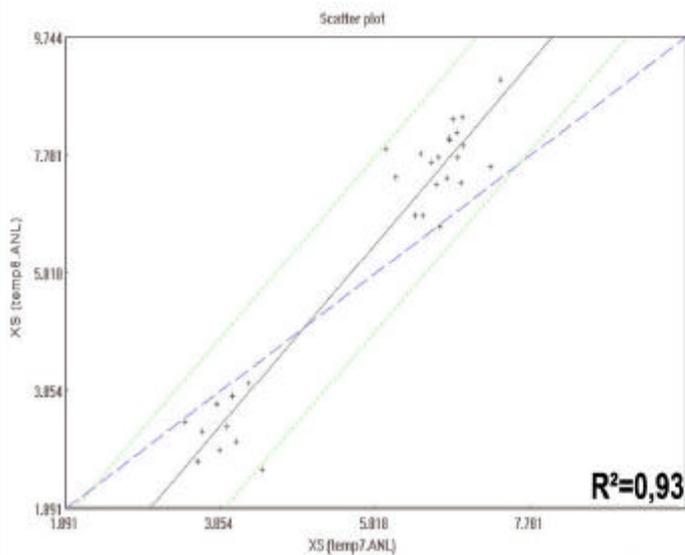
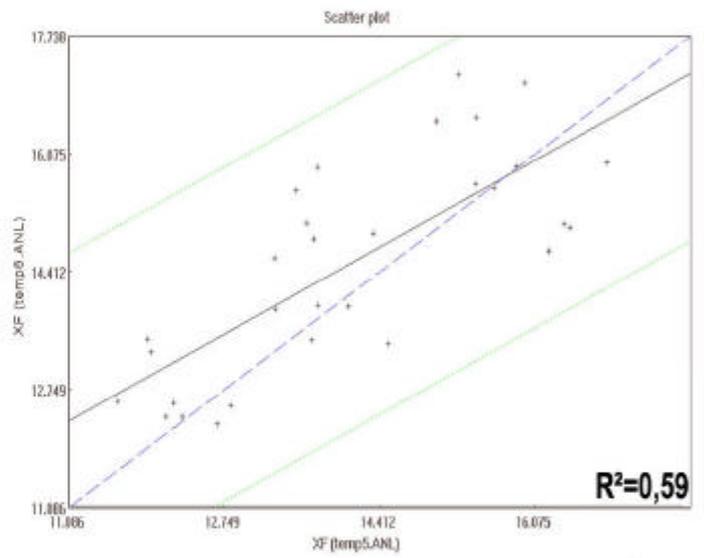
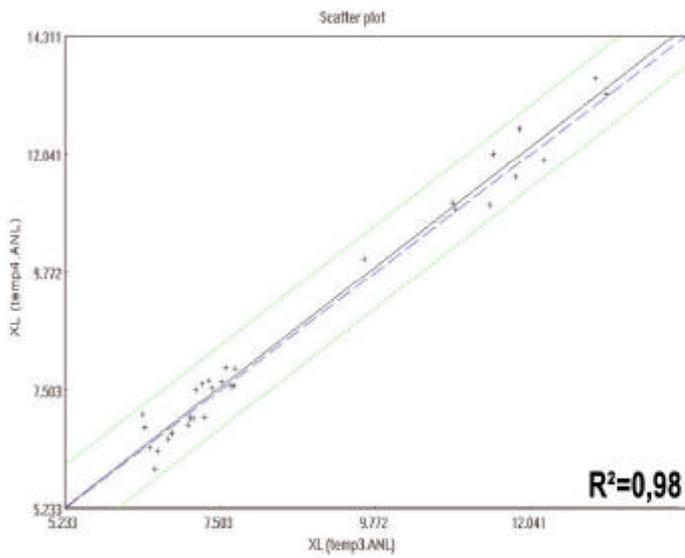
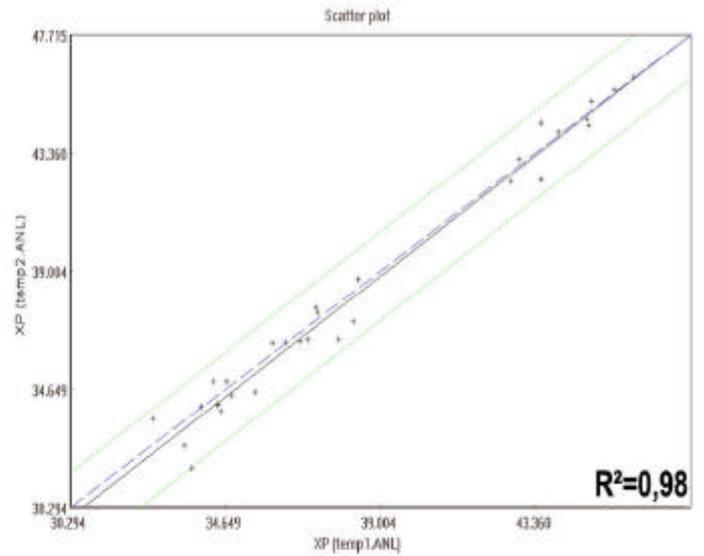
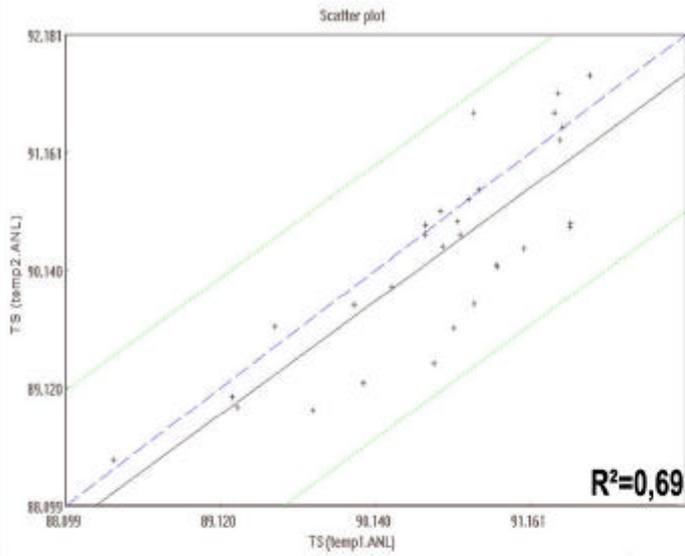


Abbildung 7 YX- Graphik mit Regressionsgrade und Ausreißerschranken für die Validierproben der Gesamtlupinen

Tabelle 12 Vergleich der Güteparameter von den Validierproben der Blauen, Gelben und Weißen Lupine in einer Kalibrierung innerhalb der botanischen Art und in einer Gesamtkalibrierung

	Kalibrierung Botanische Art					Gesamtkalibrierung				
Blaue Lupine	SEP	SEP (C)	R²	bias	Slope	SEP	SEP (C)	R²	bias	Slope
TM	0,25	0,26*	0,98	-0,04	0,76	0,18	0,17	0,95	-0,08	0,95
XP	0,78	0,70	0,90	-0,42	1,24	0,88	0,88*	0,79	-0,26	1,10
XL	0,56	0,47	0,63	0,33*	0,58	0,46	0,42	0,49*	0,23	1,01
XF	0,90	0,91*	0,00*	-0,23	-0,04	1,14	1,20*	0,27*	-0,08	-0,86*
XS	0,88	0,43	0,64	0,78*	0,88	1,00	0,57	0,33*	0,84*	0,99
XZ	0,61	0,63*	0,02*	0,12	-0,48	0,76	0,78	0,00*-	0,16	-0,06*
	Kalibrierung Botanische Art					Gesamtkalibrierung				
Gelbe Lupine	SEP	SEP (C)	R²	bias	Slope	SEP	SEP (C)	R²	bias	Slope
TM	0,93	0,39	0,64	0,85*	0,71	0,91	0,13	0,95	-0,90*	1,03
XP	0,29	0,30	0,95	-0,01	0,93	0,52	0,55	0,82	-0,04	1,03
XL	0,23	0,21	0,89	-0,11	1,15	0,21	0,21	0,90	-0,05	1,24
XF	0,87	0,72	0,76	0,54*	1,01	1,36	0,82	0,71	1,12*	1,21
XS	0,60	0,45	0,10*	-0,43	1,01	0,84	0,54	0,00*	0,66*	0,08*
XZ	0,96	0,89	0,00*	0,46	0,11	0,86	0,87*	0,04*	-0,24	0,44
	Kalibrierung Botanische Art					Gesamtkalibrierung				
Weiße Lupine	SEP	SEP (C)	R²	bias	Slope	SEP	SEP (C)	R²	bias	Slope
TM	0,42	0,39	0,81	0,19	1,02	0,28	0,27	0,93	0,10	1,15
XP	0,85	0,82*	0,67	-0,33	0,81	0,64	0,58	0,84	-0,31	0,85
XL	0,30	0,28	0,94	0,14	1,06	0,39	0,38	0,88	0,15	0,96
XF	0,72	0,75	0,41*	0,12	0,63	0,71	0,72	0,48*	0,20	0,64
XS	1,80	0,94	0,01*	1,56*	-1,00*	1,51	0,77	0,02*	1,33*	-0,35*
XZ	0,75	0,61	0,31*	-0,48*	0,91	0,65	0,67	0,17*	0,15	0,86

3.2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Der Nutzen in der Erstellung einer Kalibrierung für Lupinen liegt in der schnelleren und kostengünstigeren Ergebnisermittlung. Im Labor können mehrere Inhaltsstoffe auf einmal untersucht werden, was einen wesentlich geringeren Zeitaufwand zur Folge hat. Durch den Wegfall von Chemikalien bestehen zudem keine Risiken für das Laborpersonal sowie keine Umweltbelastungen.

Die Verwertbarkeit der Ergebnisse ist immer so gut wie die Referenzanalytik und die dazu passende Kalibrierung. Wie man an den Güteparametern der Kalibrierungen ersehen kann, ist bei der Gesamtkalibrierung bei allen Inhaltsstoffen eine hohe Genauigkeit zu erwarten. Dieses gilt auch für die Inhaltsstoffe der Weender-Analysen, jedoch nicht für Stärke und Gesamtzucker bei der Kalibrierung für die jeweilige botanische Art.

4 Zusammenfassung

Die Analysewerte der Weender Rohnährstoffe weisen die Lupinen als ein gut geeignetes Futtermittel aus, welches die Futterbasis und insbesondere die Rohproteinversorgung ökologisch und konventionell wirtschaftender Betriebe erheblich erweitern kann. Tierart, Leistungsausrichtung und -höhe, aber auch die Möglichkeiten zur Aminosäureenergänzung bestimmen die Anteile von Lupinen in der Ration. Um die Einsatzmengen optimal zu kalkulieren und Nährstoffimbancen zu vermeiden, sind die genauen Kenntnisse über die anteiligen Inhaltsstoffe unerlässlich. Von besonderem Interesse ist dabei der Rohproteingehalt.

Bei der Gesamtkalibrierung lag für alle Rohnährstoffe eine gute Übereinstimmung zwischen den Analysewerten der nass-chemischen Weender Analyse und der NIRS-Analyse vor. Allerdings war bei den Kalibrierungen für die jeweilige botanische Art die bisherige Probenzahl noch nicht hinreichend, um den Ansprüchen an die Zuverlässigkeit der NIRS-Analytik in allen Punkten Rechnung zu tragen. Notwendig ist die Einbeziehung weiterer Kalibrier- und Validierproben, mit denen das Bestimmtheitsmaß verbessert werden kann.

Die im Rahmen der Untersuchungen erzielten Resultate sprechen für die Eignung der Nah-Infrarot-Reflexions-Spektroskopie zur Abschätzung des Gehaltes wertgebender Inhaltsstoffe in Lupinen. Mit der NIRS-Analytik liegt ein Verfahren vor, dass die Nachteile der nass-chemischen Untersuchung vermeidet, ohne an Genauigkeit einzubüßen. Die großen Schwankungen in den einzelnen Nährstofffraktionen unterstreichen die Notwendigkeit von Futteranalysen in der landwirtschaftlichen Praxis zwecks optimierter Rationsgestaltung.

5 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; ggf. mit Hinweisen auf weiterführende Fragestellungen und auf Möglichkeiten der Umsetzung oder Anwendung

Tabelle 13 Gegenüberstellung der Ziele

Ursprünglich geplante Ziele	Erreichte Ziele
Durchführung von Weender Analysen, Bestimmung von Gesamtzucker und Stärke.	Es wurden je 50 Proben der Blauen, Gelben und Weißen Lupine analysiert.
Die Lupinen sollten aus mehreren Anbaujahren stammen.	Es wurden Lupinenproben aus den Anbaujahren 2000 bis 2003 untersucht.
Es sollten mehrere Standorte einbezogen werden.	Es wurden Proben von 29 Standorten untersucht.
Zusätzlich sollten von jeder botanischen Art verschiedene Sorten untersucht werden.	Es wurden 24 verschiedene Sorten analysiert.
Erstellung einer Kalibrierung.	Für jede botanische Art wurde eine Kalibrierung und zusätzlich eine Gesamtkalibrierung erstellt.
Weiterleitung an die Landesuntersuchungs- und Forschungsanstalten.	Die benötigten Dateien wurden an Herrn Dr. Peter Tillmann weitergeleitet, der sich um die technischen Details kümmert, so dass die Kalibrierung von anderen genutzt werden kann.
Eine zeitsparende Analysenmethode sollte gefunden werden.	Durch die NIRS-Methode hat sich die Analysedauer von 14 –18 Tagen auf 3 – 4 Tage verkürzt.
Ferner sollte eine kostengünstige Analysenmethode ermöglicht werden.	Mit der NIRS-Methode wird eine für den Landwirt kostengünstige Analysenmethode bereit gestellt.

Die ursprünglich geplanten Ziele konnten, wenn auch nicht in der ursprünglich vorgesehenen Zeit, eingehalten werden. Verzögerungen traten insbesondere bei der Beschaffung der Proben auf. Weitere Schwierigkeiten traten bei der Vermahlung der Proben auf. Um eine Erwärmung des Motors der Mühle und defekte Siebe zu verhindern, musste mit einem 2 mm Sieb vorgemahlen und danach mit einem randverstärkten 1 mm Sieb auf die endgültige Partikelgröße vermahlen werden. In der Analytik waren, bedingt durch unterschiedliche Schalenanteile und einen sehr hohen Proteingehalt, insbesondere bei der Gelben Lupine Vielfachbestimmungen erforderlich. Aufgrund des hohen Proteingehaltes mussten auch die Fällungsmengen von den Carrez-Lösungen bei der Gesamtzucker- und Stärkebestimmung erhöht werden.

6 Literaturverzeichnis

- ABEL, H. (1996): Leguminosen: Tierernährung. UFOP (Hrsg.): Potentiale und Perspektiven des Körnerleguminosenanbaus in Deutschland.
- BELLOF, G. und S. SIEGHART (1996): Süßlupinen und Rapskuchen: Eiweißalternativen in der Schweinemast?. DGS Magazin 5, S. 45-49.
- BELLOF, G., A. WOLF, P. FREUDENREICH (1997): Eiweißalternativen in der Schweinemast: Süßlupinen und Rapskuchen. Raps 2, S. 79-83.
- BISKUPEK-KORELL, B., P. RAUSCHER, S. EIDNER (2003): Entwicklung einer NIRS-Kalibrierung zur Bestimmung des Ölsäuregehalts an vermahlener Sonnenblumensaat als qualitätssichernde Maßnahme bei Vermarktung und Verarbeitung von High-Oleic-Sonnenblumen. UFOP-Schriften.
- BÖHME, H. (1988): Untersuchungen über die Eignung von Ackerbohnen (*Vicia faba*), Felderbsen (*Pisum sativum*) und Süßlupinen (*Lupinus luteus*) als Eiweißfuttermittel in der Ferkelaufzucht. Landbauforschung Völkenrode 4, S. 353-358.
- CHEEKE, P.R. and J.D. KELLY (1989): Metabolism, toxicity and nutritional implications of quinolizidine (lupin) alkaloids. In: HUISMAN, J., T.F.B. VAN DER POEL, I.E. LIENER (eds.) Recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds. 1st Intern. Workshop on 'Antinutritional Factors (ANF) in Legume Seeds', 1988, Wageningen, The Netherlands, Pudoc Wageningen, pp. 189-201.
- DEGUSSA (1996): Die Aminosäuren-Zusammensetzung von Futtermitteln. 4. überarbeitete Auflage, Selbstverlag, Hanau.
- EICHHORN, J., A. ANDERL und M. NEUMANN (2000): Körnerleguminosenanbau verdreifachen? Landwirtschaftliches Wochenblatt 50, S. 16-19.
- FOSS (1999a): NIRSystems/TECATOR Lose Blattsammlung, Hamburg.
- FOSS (1999b): NIRSystems/TECATOR, ISI Windows Near-Infrared Software. The Complete Software Solution for Routine-Analysis, Robust Calibrations and Networking.
- GDALA, J., L. BURACZWESKA, WASILEWSKO (1995): Ileal digestibility of lupine seed carbohydrates in young pigs and the effect of α -galactosidase supplementation. Proc. 2nd Europ. Conf. Grain Legumes. Copenhagen (DK) p. 289.
- HEINZ, T., W.-B. SOUFFRANT, S. KESTING, O. KELLNER (1991): Ackerbohnen und Futtererbsen in Rationen für Schweine und Geflügel im Vergleich zum Sojaschrot. Tierzucht 45, S. 84-86.
- JANSMAN, A.J.M. (1993): Tannins in feedstuffs für simple-stomached animals. Nutr. res. Rev. 6, p. 209-236.
- JANSEN, E. (1995): NIRS – eine Wunderwaffe in der Analytik? Hessenbauer 46, S. 25-26.
- JEROCH, H. (1988): Futterqualität und Einsatzmöglichkeiten von Körnerleguminosen in der Legehennen- und Broilerfütterung. Tierzucht 42, S. 433-437.
- JEROCH H., G. FLACHOWSKY, F. WEIßBACH (1993): Futtermittelkunde. Gustav-Fischer-Verlag, Jena, Stuttgart.

- MEYER, U., E. SCHULZ, G. FLACHOWSKY und A. BERG (2001): Tiermehlverfütterungsverbot! – Forschungsbedarf bezüglich Alternativen. Forum angewandte Forschung, 21.-22.03.2001, Fulda.
- PETTERSON, D.S. (1998): Composition and food uses of Lupines. In: J.S. GLADSTONES, C.A. ATKINS and J. HAMBLIN, (eds.), CAB Intern., Lupines as Crop Plants: Biology, Production and Utilization, pp. 353-385.
- PLARRE, W. (1999): Lupine. Knollen- und Wurzelfrüchte, Körner- und Futterleguminosen. In: Keller E., H. Hanus & K.-U. Heyland (Hrsg.). Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, S. 689-710.
- PRINSLOO, J.J., G.A. SMITH, W. RODE (1992): Sweet white *lupinus albus* (cv buttercup) as a feedstuff for layers. Br. Poult. Sci. 33, p. 525-530.
- RÖMER, P. (1996): Lupinen - Verwertung und Anbau. Gesellschaft zur Förderung der Lupine e.V., 3. Auflage, S. 1-25.
- ROTH-MAIER, D.A., R. PAULICKS, O. STEINHÖFEL (2002): Inhaltsstoffe, Futterwert und Einsatz von Lupinen in der Nutztierfütterung. UFOP-Praxisinformation.
- ROTH-MAIER, D.A. und M. KIRCHGESSNER (1993): Nährstoffzusammensetzung und Futterwerte verschiedener weißer und gelber Lupinen (*Lupinus alba* L. und *Lupinus luteus* L.) für Schwein und Geflügel. Agribiological Research 46, 1-10.
- SUNDRUM, A. (1998): Grundzüge der Ökologischen Tierhaltung. Dtsch. tierärztl. Wschr. 105, 293-298.
- SUNDRUM, A., L. BÜTFERING, M. HENNING and K.-H. HOPPENBROCK (2000): Effects of On-Farm Diets for Organic Pig Production on Performance and Carcass Quality. J. Animal Sci. 78, 1199-1205.
- TAVERNER, M.R., D.M. CURIC, C.J. RAYNER (1983): A comparison of the extent and site of energy and protein digestion of wheat, lupine and meat and bone meal by pigs. J. Sci. Food Agr. 34, p. 122-128.
- TILLMANN, P. (1996): Kalibrierungsentwicklung für NIRS-Geräte. Cuvillier-Verlag, Göttingen.
- TILLMANN, P. (2000): Kalibrationsentwicklung für NIRS-Geräte – Eine Einführung. Selbstverlag, Ahnatal.
- VDLUFA (1997): Methodenbuch Band III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- WAGNER, E., C. BEN, T. LEEB and J. BAUMGARTNER (2001): Pig production on farms in Austria fed only organically produced feedstuffs. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 10, 117.
- ZETTL, A., F. LETTNER und W. WETSCHEREK (1995): Einsatz von weißer Süßlupine (*Lupinus albus* var. AMIGA) in der Schweinemast. Bodenkultur 46, 165-175.