

Gisela Jansen<sup>1</sup>, Fred Eickmeyer<sup>2</sup>, Volker Michel<sup>3</sup>

## Einfluss von Kalkung und pH-Wert im Boden auf Kornertrag und Eiweißgehalt von *Lupinus angustifolius* L.

Influence of liming and pH-value in soil on yield and protein content of *Lupinus angustifolius* L.

367

### Zusammenfassung

In einem Freilandversuch wurde der Einfluss von Standorten mit einem sauren Boden (pH-Wert von 5,8) und einem alkalischen Boden (pH-Wert von 7,1) auf das Wachstum, den Kornertrag und den Proteingehalt von 12 verschiedenen deutschen Blauen Lupinensorten (*Lupinus angustifolius*) in einem 2-jährigen Versuch untersucht. Auf dem alkalischen Boden nahm mit zunehmendem Vergilbungsgrad die Wuchshöhe ab, wobei keine signifikante Beziehung (Spearman,  $P \geq 0,05$ ) nachgewiesen werden konnte. Der Vergilbungsgrad korrelierte ebenfalls nicht mit dem Kornertrag (Spearman,  $P \geq 0,05$ ). Auf dem sauren Boden lag der Durchschnittsertrag der untersuchten Sorten im Jahr 2004 bei 31 dt/ha und dem alkalischen Boden bei 20 dt/ha. Im Jahr 2005 war das Ertragsniveau der Blauen Lupinen auf beiden Standorten mit durchschnittlich 29 dt/ha auf dem sauren Boden bzw. 7 dt/ha auf dem alkalischen Boden niedriger. Die Ertragsunterschiede der Sorten auf dem Standort mit hohem pH-Wert gegenüber dem Standort mit niedrigem pH-Wert schwankten zwischen 1 dt/ha und 31 dt/ha. Zwischen den Standorten mit verschiedenem pH-Wert waren die Ertragsunterschiede signifikant.

Der mittlere Proteingehalt der Samenkörner im Lupinensortiment auf dem sauren Boden betrug 2004 30,8% und 2005 30,9% und auf dem alkalischen Boden 20,7% bzw. 20,2%. Damit war der Proteingehalt auf dem Standort mit hohem pH-Wert in beiden Jahren im Mittel etwa 10% geringer. Die Standortunterschiede waren signifikant.

In einem weiteren Freilandversuch wurden die Auswirkungen einer Kalkung auf einem sauren Boden in 2 Stufen im Vergleich zu einer ungekalkten Variante bezüglich Kornertrag und Proteingehalt von 10 Blauen Lupinen in einem 2-jährigen Feldexperiment untersucht. Durch Kalkgaben von 3 t/ha und 6 t/ha konnte der pH-Wert des ungekalkten Bodens (Kontrolle) mit einem pH-Wert von 5,8 auf 6,1 bzw. 6,4 angehoben werden. Im Mittel der Jahre und auch in den Einzeljahren 2007 und 2008 wurden durch eine Kalkung auf einem sauren Boden bei den untersuchten Blauen Lupinen keine signifikanten Unterschiede im Ertrag und im Proteingehalt festgestellt.

**Stichwörter:** Kalk, pH-Wert, Kornertrag, Eiweißgehalt, *Lupinus angustifolius* L.

### Abstract

Grain yield and protein content of 12 different narrow-leaved lupins were compared in field studies at different soils. Two year trials were carried out in contrasting soil types, acid soils with a pH of 5.8 and calcareous soils with a pH of 7.1. Plants grown in the calcareous soils showed leaf yellowing, whereas the yellowness index (chlorosis score) did not negatively correlate with the plant high and the final grain yield (Spearman,  $P \geq 0,05$ ). In 2004, the mean yield of lupin grains on the acid soil was 3.1 t/ha and on the calcareous soil 2.0 t/ha. The following year the level of the yield was lower with 2.9 t/ha or 0.7 t/ha, respectively. The differences in yield between

### Institut

Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Resistenzforschung und Stresstoleranz, OT Groß Lüsewitz, Sanitz<sup>1</sup>

vormals: Saatzucht Steinach GmbH & Co KG, Steinach<sup>2</sup>

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Gülzow<sup>3</sup>

### Kontaktanschrift

Gisela Jansen, Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Resistenzforschung und Stresstoleranz, OT Groß Lüsewitz, Rudolf-Schick-Platz 3, 18190 Sanitz, E-Mail: gisela.jansen@jki.bund.de

### Zur Veröffentlichung angenommen

Mai 2010

the locations with high and low pH were significant and varied between 0.1 t/ha and 3.1 t/ha.

In the year 2004 and 2005, the mean protein content of the lupin assortment was always higher on the acid soils (30.8% and 30.9%) in comparison with calcareous soils (20.7% and 20.2%). High pH decreased significantly the protein content.

The influence of liming of acid soils in comparison to an unlimed soil on grain yield and protein content of 10 narrow-leaved lupins was studied in a further field experiment. The pH of the unlimed soil (5.8) could be decreased with a lime-application of 3 t/ha and 6 t/ha to a pH of 6.1 or 6.4, respectively. Liming of acid soils did not effected significantly the mean values of grain yield and the protein content of investigated lupins, neither in the single year 2007 and 2008, nor in the mean of the years.

**Key words:** Liming, pH-value, yield, protein content, *Lupinus angustifolius* L.

## Einleitung

Lupinen sind allgemein dafür bekannt, dass sie vorwiegend saure Böden bevorzugen. Ihre Sensitivität gegenüber kalkhaltigen Böden erhöht sich bei den verschiedenen Lupinenarten in folgender Reihenfolge *Lupinus albus* L. < *Lupinus angustifolius* L. < *Lupinus luteus* L. (GLADSTONES, 1970). Schmalblättrige Süßlupinen (*Lupinus angustifolius*), die in Europa erst seit den 90er Jahren in größerem Umfang angebaut werden, nehmen dabei eine Mittelstellung ein (DIEPENBROCK et al., 1999). Bei verschiedenen Lupinenarten sind ebenfalls große Unterschiede in ihrer Sensitivität gegenüber Eisenmangel bekannt (WHITE, 1990), wobei *L. pilosus* als tolerant und *L. luteus* als sensitiv eingestuft wurden (TANG und ROBSEN, 1993). Gegenüber Eisenmangel tolerante Lupinen sind dabei besser in der Lage, Eisen von der Wurzel in den Spross zu transportieren.

PEITER et al. (2000 und 2001a) untersuchten die Ansprüche von Lupinen bezüglich der Nährstoffe, des pH-Wertes und des Bicarbonatgehaltes im Boden. Im Jugendstadium ist nicht nur die Nährstoffverfügbarkeit bzw. ein Ungleichgewicht der Nährstoffe verantwortlich für eine Wachstumshemmung (PEITER et al., 2000), vor allem das Bicarbonat hemmt auf kalkhaltigen Böden das Wachstum, wobei primär das Wurzellängenwachstum beeinträchtigt wird (2001a).

Eine Reihe von Arbeiten beschreiben speziell die Reaktionen der Weißen Lupine auf kalkhaltigen Böden. Neben einer vermehrten Ausbildung von Proteoid-Wurzeln (Cluster-Wurzeln) fanden PEITER et al. (2001b) längere Cluster-Wurzeln. KERLEY (2000a) ermittelte ein geringeres Gewicht der Haupt- und Nebenwurzel durch erhöhte pH-Werte, wobei die Cluster-Wurzelmasse etwa gleich blieb (KERLEY, 2000b). Veränderungen in der Wurzelarchitektur in Abhängigkeit vom pH-Wert, Bicarbonat- und Kalziumgehalt in Flüssigkulturen wurden von KERLEY und HUGHE (2002) untersucht. Sie stellten fest, dass Gelbfär-

bungen der Blätter ein weniger geeignetes Merkmal für die Kalkempfindlichkeit sind und empfehlen daher Chlorophyllmessungen.

Angaben zu den Bodenansprüchen der schmalblättrigen Lupine finden sich vor allem in australischen Arbeiten. TANG et al. (1993) beschäftigten sich mit den Auswirkungen unterschiedlicher pH-Werte (5,2 bzw. 7,5) auf das Wurzelwachstum der Sorte Yandee, wobei sich das Wurzelgewicht und die Länge der Haupt- und Nebenwurzeln nach 12 Tagen in der basischen Nährlösung reduzierten. In einer weiteren Veröffentlichung wurde gefunden, dass für die Sorte Yandu das pH-Optimum für das Wurzelwachstum zwischen 5,0 und 5,5 lag (TANG et al., 1992). Jessop und Mahoney (1982) sowie TANG und ROBSEN (1993, 1995) konnten außerdem nachweisen, dass auch das Knöllchenwachstum der schmalblättrigen Lupinen bei höheren pH-Werten reduziert wird. Gleichzeitig wurde ein reduzierter Stickstoffgehalt in der Pflanze nachgewiesen.

JANKAUSKAS und OTABBONG (2004) untersuchten den Einfluss verschiedener Düngerkombinationen auf die Produktivität von Gelben Lupinen in Topfversuchen in gekalkten und ungekalkten sandigen Lehmböden (pH 4,2). Im Vergleich zu einer NP-Düngung beeinflusste eine reine Stickstoffdüngung und eine NK-Düngung in beiden Böden die Trockensubstanzausbeute der Gelben Lupinen negativ. Eine NPK-Düngung führte sowohl in gekalkten als auch in ungekalkten Böden zu den höchsten Trockensubstanzausbeuten.

In einer Literaturschau zu Bodenansprüchen verschiedener Lupinenarten (Abschlussbericht der ITADA, 2005) wurde festgestellt, dass bei den bisher veröffentlichten Arbeiten zur Kalkempfindlichkeit kaum Untersuchungen der Pflanzen bis zum Stadium der Kornausbildung durchgeführt wurden.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, den Einfluss eines sauren und alkalischen Bodens auf das Wachstum, den Kornertrag und den Proteingehalt von deutschen Blauen Lupinensorten im Freiland zu untersuchen. Durch eine praxisnahe Aufkalkung eines sauren Bodens sollten die Auswirkungen einer frischen Kalkung auf den Kornertrag und den Proteingehalt in den reifen Körnern ermittelt werden.

## Material und Methoden

Die analysierten schmalblättrigen Süßlupinensorten Borlana, Borweta, Bordako, Boruta, Borlu, Bora, Boregine, Boltensia, Bolivio, Probor, Haagena, Sanabor und Vitabor wurden von der Saatzucht Steinach GmbH & Co KG, die Sorte Sonet und die alkaloidhaltige Sorte Azuro von der Kruse Saatzucht GmbH & Co KG sowie die Sorten Arabella und Idefix von der Südwestdeutschen Saatzucht GmbH & Co KG bereitgestellt.

Im Jahr 2004 und 2005 wurden auf einem ökologischen Standort in Groß Lüsewitz (Mecklenburg-Vorpommern) und Bogen (Niederbayern) die Süßlupinen Borlana, Borweta, Bordako, Boruta, Borlu, Bora, Boregine,

Tab. 1. Charakteristik der Versuchsstandorte

Bundesland	Mecklenburg-Vorpommern	Niederbayern
Landkreis	Bad Doberan	Straubing
Ort	Groß Lüsewitz	Bogen
Bodenwertzahl	47	59
Bodenart	IS (vermessungsfreier Tieflehm und Lehmstandort mit vorwiegend lehmsandigen Boden)	L4D
langjähriger Niederschlag (mm)	620	803
Mittlere Jahrestemperatur (°C)	8,2	7,7
pH-Wert	5,8 – 5,9	7,0 – 7,3

Boltensia, Bolivio, Vitabor und Sonet sowie eine bittere Lupine Azuro angebaut. Die Charakteristik der Standorte ist in Tab. 1 dargestellt.

Der Anbau erfolgte in 4-facher Wiederholung in Parzellen mit 9,6 m<sup>2</sup> in Groß Lüsewitz bzw. 7,8 m<sup>2</sup> in Bogen. Nach Abreife der Hülsen wurde der Kornertrag in 4-facher Wiederholung ermittelt. Die Bonitur der Vergilbung wurde am 19.07.2004 sowie am 10.07.2005 durchgeführt und die Messung der Wuchslänge erfolgte am 05.07.2004 sowie am 14.06.2005. Für die Proteinbestimmung wurde eine Mischprobe aus den 4 Wiederholungen mit einer Schlagmühle grob zerkleinert und anschließend mit einer Fallzahlmühle vermahlen.

Die Bestimmung des Rohproteins erfolgte in der Mischprobe im Schrot nach Kjeldahl. Alle ermittelten Rohproteinwerte sind auf 90% Trockensubstanz im Schrot bezogen.

Im Jahr 2007 und 2008 wurden auf einem sauren, ökologisch bewirtschafteten Standort in Groß Lüsewitz Auswirkungen einer Aufkalkung auf ein Lupinensortiment mit 9 Blauen Süßlupinen (Boruta, Borlu, Probor, Haage-na, Arabella, Idefix, Sanabor, Vitabor und Sonet) und einer bitteren Lupine (Azuro) untersucht. Während der Ve-

getationsperiode (Aussaat – Ernte) betrug die mittlere Temperatur und die Niederschlagssumme im Jahr 2007 14,3°C bzw. 436 mm und im Jahr 2008 15,4°C bzw. 136 mm. Bei jährlichen Bodenuntersuchungen wurden die Gehaltsklassen für Makronährstoffe P, K und Mg zwischen optimal bis hoch und die Gehaltsklassen für Mikronährstoffe Cu und Mn zwischen optimal bis sehr hoch eingestuft. Somit war weder in den Makronährstoffen noch in den Mikronährstoffen ein Mangel vorhanden. Die Kalkung erfolgte einmalig im Herbst 2006 mit Granukal, einem schnell wirkenden feinkörnigen Gartenkalk, in zwei unterschiedlichen Konzentrationen 3 t Kalk/ha und 6 t Kalk/ha in 2-facher Wiederholung auf 19 m breiten Parzellen. Die Aufkalkung mit 6 t Kalk/ha liegt dabei im Bereich einer Gesundkalkung. Als Kontrolle diente die ungekalkte Variante. Die Auswirkungen auf den pH-Wert des Bodens sind in Abb. 1 dargestellt. Dazu wurde der pH-Wert im Boden jeweils vor der Aussaat und nach der Ernte der Blauen Lupinen bestimmt.

Nach Abreife der Hülsen wurde eine Kernbeerntung von 19 m<sup>2</sup> der ursprünglich 28,5 m<sup>2</sup> großen Parzellen durchgeführt und der Kornertrag der Sorten in 4-facher Wiederholung ermittelt.

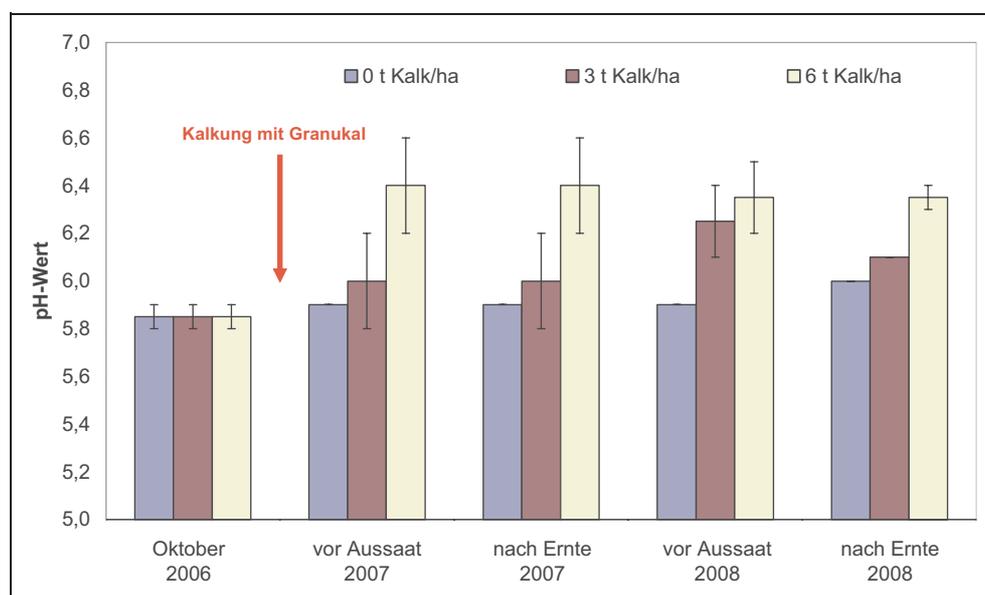


Abb. 1. Verschiebung des pH-Wertes im Boden durch Aufkalkung.

Die Bestimmung des Rohproteins erfolgte 2007 im Schrot nach Kjeldahl und 2008 mittels NIR mit einem Multi Purpose Analyser (MPA) der Fa. Bruker ( $R^2 = 0,95$ ; RMSEE = 0,83); Referenz = Kjeldahl; Basis: 2004-2008;  $n = 252$ ). Die Bestimmungen wurden in 4-facher Wiederholung durchgeführt.

#### Statistische Auswertung

Alle statistischen Auswertungen wurden mittels SAS – Version 9.2 für Windows (SAS INSTITUTE, 1999) vorgenommen.

Für Mittelwertvergleiche der Standortversuche mit unterschiedlichem pH-Wert wurden der t-Test und der Tukey-Test genutzt und für die Berechnung der Korrelationen der Spearman'sche Korrelationskoeffizient.

Die Auswertung des Kalkversuches erfolgte in beiden Jahren jeweils als zweifaktorielle Streifenanlage mit den als Großteilstück angelegten Faktoren Kalkung ( $a = 3$ ) und Sorte ( $b = 10$ ). Der Hauptfaktor Kalkung wird im Mittel der Sorten dargestellt.

#### Ergebnisse

##### Untersuchungen auf Standorten mit unterschiedlichem pH-Wert

Die Auswirkungen eines ungünstigen Standortes mit hohen pH-Werten auf die Entwicklung Blauer Lupinen wurden durch die Bonitur des Vergilbungsgrades, die Messung der Wuchshöhe und die Ermittlung des Ertrages auf dem Standort Bogen analysiert. Die Ergebnisse dazu sind in Tab. 2 dargestellt.

Die Sortenunterschiede im Vergilbungsgrad und die Sortenunterschiede in der Wuchshöhe waren auf dem Standort Bogen signifikant ( $P < 0,05$ ). Dabei lassen die niedrigen Boniturnoten der Sorte Vitabor und der Bitterlupine Azuro für die Vergilbung in beiden Anbaujahren zunächst im frühen Entwicklungsstadium eine höhere Toleranz gegenüber hohen pH-Werten im Boden vermuten. Zwischen dem Vergilbungsgrad und der Wuchshöhe konnte jedoch im Jahr 2004 und im Jahr 2005 unter Einbeziehung aller Sorten keine signifikante Beziehung (Tab. 2) nachgewiesen werden. Die Vergilbung korrelierte letztendlich auch in keinem Fall mit dem Kornertrag ( $P \geq 0,05$ ). Die Sortenunterschiede im Ertrag waren auf dem Standort Bogen nicht signifikant. Alle Sorten reagierten auf dem Boden mit hohem pH-Wert mit schlechten Erträgen.

Die Ertragsunterschiede zwischen den Blauen Lupinen, die auf einem Boden mit optimalem pH-Wert von 5,8 bis 5,9 in Groß Lüsewitz und auf einem Boden mit hohem pH-Wert von 7,0 bis 7,3 in Bogen angebaut wurden, sind für das Anbaujahr 2004 und 2005 in Abb. 2 und Tab. 3 dargestellt. In beiden Anbaujahren gab es auf dem Standort Groß Lüsewitz signifikante Sortenunterschiede (Tukey-Test,  $P < 0,05$ ).

Der Durchschnittsertrag der untersuchten 12 Sorten im Jahr 2004 auf dem Standort Groß Lüsewitz, der für einen Lupinenanbau eine relativ hohe Bodenwertzahl von 47 aufweist, lag bei 31 dt/ha, wobei die Sorte Boregine mit durchschnittlich 51 dt/ha den höchsten Ertrag und die Sorte Azuro mit durchschnittlich 21 dt/ha den niedrigsten Ertrag erzielte. Auf dem Standort Bogen mit einem pH-Wert von etwa 7,1 konnten im Mittel aller Sorten

**Tab. 2. Vergilbung, Wuchshöhe und Ertrag verschiedener Sorten *Lupinus angustifolius* L. im Anbaujahr 2004 und 2005 auf dem Standort Bogen**

Sorte	Vergilbung		Wuchshöhe [cm]		Kornertrag [dt/ha]	
	2004	2005	2004	2005	2004	2005
Borweta	6,0	6,0	43	35	18,04	9,13
Boruta	6,8	6,5	51	40	19,39	10,19
Sonet	5,5	6,8	44	35	20,06	8,59
Bordako	6,5	6,5	55	38	21,60	8,88
Borlana	6,3	6,0	51	35	18,11	8,62
Bora	7,8	8,0	53	38	18,11	7,60
Borlu	7,0	6,0	58	40	17,18	8,11
Bolivio	7,5	7,0	54	45	22,44	9,10
Boltensia	5,5	6,3	53	40	19,20	8,40
Boregine	6,5	6,3	54	38	20,16	10,32
Vitabor	3,0	3,3	57	38	19,10	5,83
Azuro	1,5	4,0	74	40	20,51	8,69
GD (Tukey, 5%)	1,6	1,5	9,7	6,8	5,34	5,30

Vergilbung: Boniturnoten 1-9 (9 = gelb)

Vergilbung-Wuchshöhe 2004:  $r = -0,053$ , 2005:  $r = 0,107$

Vergilbung-Ertrag 2004:  $r = -0,070$ , 2005:  $r = 0,159$

Spearman'scher Korrelationskoeffizient nicht signifikant ( $P \geq 0,05$ )

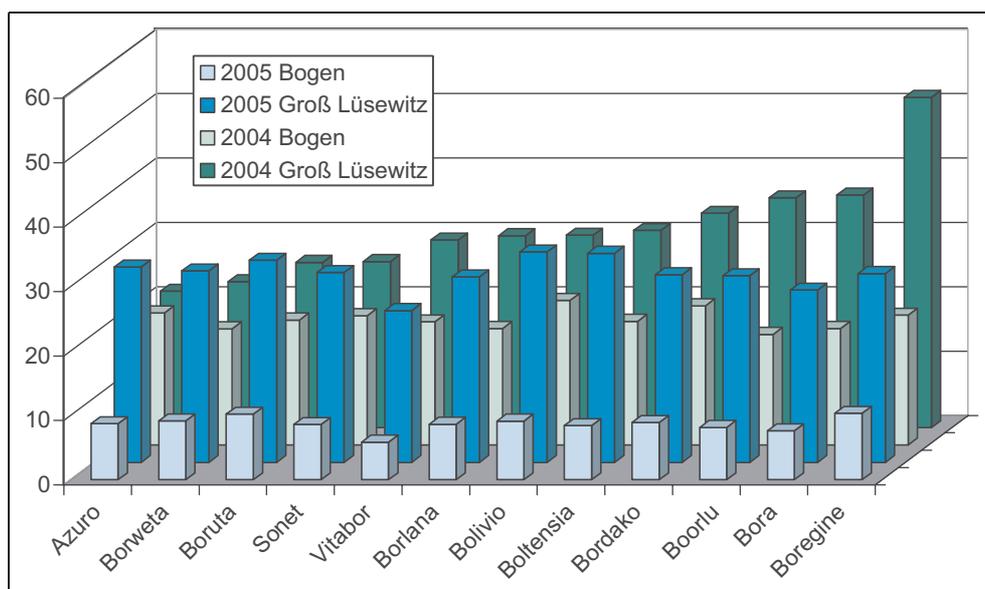


Abb. 2. Erträge von Blauen Lupinen auf Standorten mit unterschiedlichen pH-Werten (Bogen pH 5,8 - 5,9; Groß Lüsewitz pH 7,0-7,3) in den Anbaujahren 2004 und 2005.

nur 19 dt/ha erreicht werden, mit 22 dt/ha für die Sorte Bolivio und 17 dt/ha für die Sorte Borlu. Die Ertragsunterschiede zwischen den Standorten waren im Jahr 2004 signifikant (Tukey-Test,  $P < 0,05$ ).

Mit durchschnittlich 29 dt/ha in Groß Lüsewitz und 7 dt/ha in Bogen lag das Ertragsniveau der Blauen Lupinen im Jahr 2005 auf beiden Standorten niedriger als 2004. Ohne pH-Stress schwankten die Erträge zwischen 24 dt/ha für Vitabor und 33 dt/ha für Bolivio und mit pH-Stress zwischen 6 dt/ha für Vitabor und 10 dt/ha für Boregine. Die Unterschiede zwischen den Standorten waren im Jahr 2005 ebenfalls signifikant (Tukey-Test,  $P < 0,05$ ).

Die Sorten auf dem Standort mit niedrigem pH-Wert, die einen hohen Ertrag aufwiesen, waren auf dem Standort mit hohem pH-Wert nicht ertragsstabil, das heißt, die Sorten mit dem höchsten Ertrag auf dem sauren Boden hatten in beiden Jahren auch gleichzeitig den höchsten Ertragsverlust auf dem alkalischen Boden. Zwischen dem Ertrag ohne pH-Stress und dem Ertragsverlust unter pH-Stress war der Spearman'sche Korrelationskoeffizient in beiden Untersuchungs Jahren mit  $r = 0,930$  (2004) und  $r = 0,868$  (2005) signifikant ( $P < 0,0001$ ).

Auf dem ungeeigneten Boden mit hohem pH-Wert war die Variabilität der Sorten im Ertrag sehr gering, sodass eine Differenzierung bezüglich der Sorten nicht möglich war.

Tab. 3. Mittlere Erträge von 12 Blauen Lupinensorten auf unterschiedlichen Standorten in einem 2-jährigen Versuch

Standort	Ertrag [dt/ha] 2004	Ertrag [dt/ha] 2005
Groß Lüsewitz	30,92	29,38
Bogen	19,49	8,62
GD (Tukey, 5%)	2,84	1,18

Bei der Qualitätsuntersuchung der geernteten Körner der schmalblättrigen Lupinen wurden auf dem Standort Bogen mit hohen pH-Werten im Boden wesentlich geringere Rohproteingehalte ermittelt als auf dem Standort Groß Lüsewitz mit niedrigen pH-Werten im Boden (Abb. 3).

Der mittlere Proteingehalt aller Sorten über zwei Jahre betrug auf dem Standort Groß Lüsewitz 30,8% und auf dem Standort Bogen 20,4%. Somit verringerte sich in beiden Anbaujahren der Proteingehalt auf dem ungünstigen Standort mit hohem pH-Wert im Mittel um mehr als 10%. Dieser Unterschied war signifikant (Tukey-Test,  $P < 0,05$ ; GD, 5% = 0,76).

Zwischen dem Proteingehalt der Lupinensamen auf dem Standort Groß Lüsewitz und der Verringerung des Proteingehaltes unter pH-Stress war der Spearman'sche Korrelationskoeffizient mit  $r = 0,727$  im Jahr 2004 ( $n = 12$ ) und  $r = 0,650$  im Jahr 2005 ( $n = 12$ ) in beiden Jahren signifikant ( $P \leq 0,022$ ). Das bedeutete auch hier, dass die Sorten mit dem höchsten Proteingehalt auf dem sauren Boden in beiden Jahren auch gleichzeitig die höchsten Proteingehaltseinbußen auf dem alkalischen Boden hatten, wobei wiederum die Variabilität der Sorten auf dem alkalischen Boden sehr gering war (keine signifikanten Sortenunterschiede, Tukey-Test,  $P \geq 0,05$ ).

Untersuchungen auf einem gekalkten sauren Boden

Ertrag. In einem 2-jährigen Versuch wurden die Auswirkungen einer Kalkung in 2 Stufen auf einem sauren Boden im Vergleich zu einer ungekalkten Variante auf den Kornertrag und den Proteingehalt in den Lupinenkörnern untersucht. Durch Kalkdüngung von 3 t Kalk/ha (Stufe I) und 6 t Kalk/ha (Stufe II) konnte der pH-Wert des Bodens von 5,8 auf einen pH-Wert von etwa 6,1 bzw. 6,4 angehoben werden (Abb. 1). Als Kontrolle diente die ungekalkte Variante.

Die Kornerträge von 10 Blauen Lupinensorten bei unterschiedlichen Kalkgaben sind in Abb. 4 sowie Tab. 4

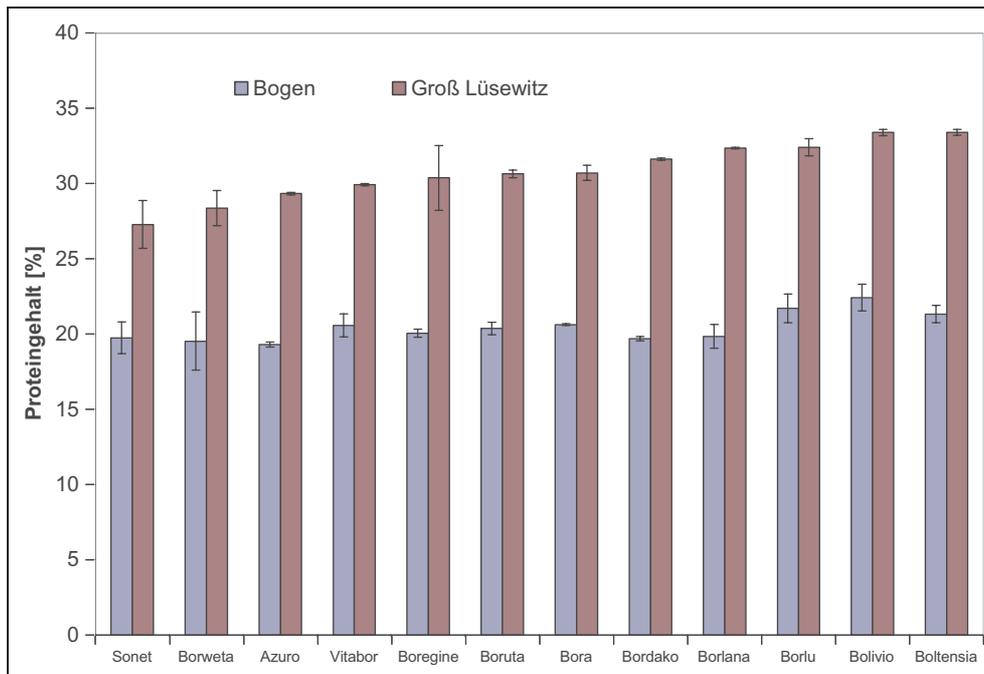


Abb. 3. Mittlerer Rohprotein-gehalt von Blauen Lupinen auf Böden mit niedrigen pH-Werten (Groß Lüsewitz) und Böden mit hohen pH-Werten (Bogen) in einem 2-jährigen Versuch.

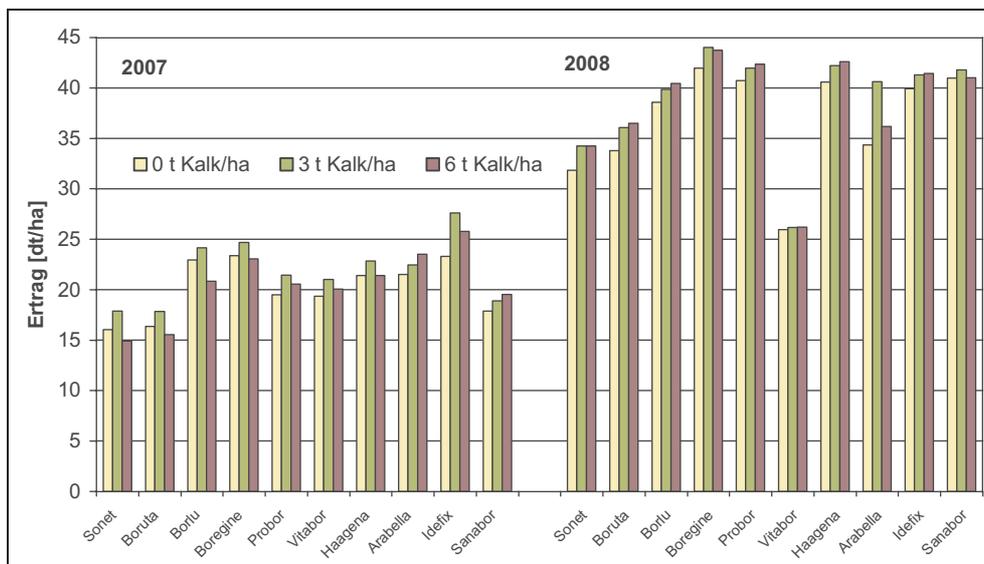


Abb. 4. Einfluss von Kalkdüngung auf den Kornertrag von Blauen Lupinen in den Anbaujahren 2007 und 2008.

dargestellt. Die Sortenunterschiede, gemittelt über alle Düngungsstufen, waren in beiden Anbaujahren 2007 und 2008 signifikant ( $P < 0,05$ ). Wie erwartet, zählte die Sorte Boregine in beiden Jahren zu den ertragsstarken und die Sorten Sonet und Vitabor eher zu den ertragschwachen Lupinensorten. Für die nachfolgende Berechnung des Einflusses der Kalkdüngung wurde der Hauptfaktor Kalkung im Mittel der 10 Sorten dargestellt. Bei der Kalkdüngung Stufe I konnten im Jahr 2007 im Durchschnitt 21,9 dt/ha und bei Stufe II 20,2 dt/ha geerntet werden (Tab. 4). Im Vergleich dazu wurden bei der Kontrolle (0 t Kalk/ha) im Mittel 20,5 dt/ha geerntet. Mit jeweils 30,4 dt/ha, 28,7 dt/ha und 29,3 dt/ha für die I Stufe, II Stufe und Kontrolle konnten im Jahr 2008 ähnliche Ergebnisse erzielt werden, jedoch auf einem insgesamt höheren Ertragsniveau. Der geringe Ertragsanstieg bei

der Kalkdüngung mit 3 t Kalk/ha im Vergleich zur Kontrolle und der Ertragsabfall bei der Kalkdüngung mit 6 t Kalk/ha gegenüber 3 t Kalk/ha ist statistisch nicht gesichert. Im Mittel der Jahre und auch in den Einzeljahren konnte durch eine Kalkung mit 3 t bzw. 6 t Kalk/ha auf einem sauren Boden keine signifikanten Unterschiede im Ertrag festgestellt werden. Auch die Wechselwirkung Kalkung\*Sorte war in keinem Fall signifikant.

**Proteingehalt.** Die Ergebnisse im Kalkversuch bezüglich des Rohprotein-gehaltes der Körner (Abb. 5) decken sich im Wesentlichen mit den Ergebnissen zum Kornertrag. Die Sortenunterschiede, gemittelt über alle Düngungsstufen, waren in beiden Anbaujahren 2007 und 2008 signifikant ( $P < 0,05$ ). Durch die unterschiedlichen Kalkgaben (0 t Kalk/ha, 3 t Kalk/ha und 6 t Kalk/ha) kam es

**Tab. 4. Mittlere Erträge von 10 Blauen Lupinensorten bei unterschiedlichen Kalkgaben in einem 2-jährigen Versuch**

Kalkstufen	Kalkgaben	Ertrag [dt/ha] 2007	Ertrag [dt/ha] 2008
0 (Kontrolle)	0 t Kalk/ha	20,2	38,5
I	3 t Kalk/ha	21,9	38,8
II	6 t Kalk/ha	20,5	36,9
GD (t, 5%)		5,6	2,3

**Tab. 5. Mittlere Proteingehalte von 10 Blauen Lupinensorten bei unterschiedlichen Kalkgaben in einem 2-jährigen Versuch**

Kalkstufen	Kalkgaben	Proteingehalt [%] 2007	Proteingehalt [%] 2008
0 (Kontrolle)	0 t Kalk/ha	27,9	30,8
I	3 t Kalk/ha	27,6	30,6
II	6 t Kalk/ha	27,7	30,9
GD (t, 5%)		2,62	1,38

jedoch zu keinen gesicherten Veränderungen im Proteingehalt (Tab. 4).

Im Anbaujahr 2008 wurden nicht nur höhere Erträge, sondern auch etwas höhere Proteingehalte im Vergleich zu 2007 erzielt. Die Sorten Probor und Idelfix zeichnen sich wie erwartet in beiden Anbaujahren durch hohe Proteingehalte aus.

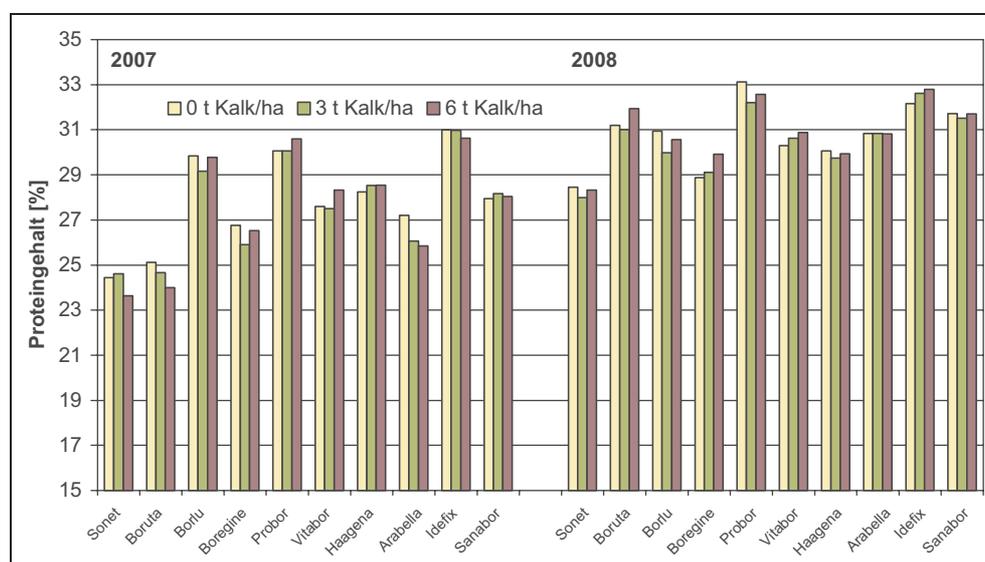
## Diskussion

### Untersuchungen auf Standorten mit unterschiedlichem pH-Wert

Auf dem Standort Bogen mit einem pH-Wert über 7,0 wurden im Vergleich zum Standort Groß Lüsewitz mit einem pH-Wert von 5,8 deutliche Ertragseinbußen und geringere Proteingehalte bei den untersuchten Blauen Lupinen festgestellt. Obwohl nach SCHINAS und ROWELL (1977) neben dem gesamten und aktiven  $\text{CaCO}_3$  sowie dessen Korngrößenverteilung der pH-Wert der beste Indikator für den Ertrag von Weißen Süßlupinen und bitteren Blauen Lupinen ist, spielen neben dem pH-Wert wahrscheinlich auch unterschiedliche Standortfaktoren, wie Bodenstrukturen, Niederschläge und weitere Nährstoffe eine Rolle. Der Bodentyp ist ein wichtiger Faktor, der das Wachstum der Lupinen beeinflusst. Nach FRENCH (2002) können 42% der Varianz in Lupinen durch Bodeneigen-

schaften erklärt werden. Feldstudien von BRAND et al. (2002) lassen vermuten, dass der pH-Wert nicht die Hauptursache für eine Ertragsreduktion auf basischen Böden ist, sondern eher das Vorhandensein von  $\text{CaCO}_3$ . Feinstrukturierte alkalische Böden mit geringer Wasser- und Luftdurchlässigkeit fördern oft auch einen Eisenmangel und insbesondere durch die Krustenbildung an der Bodenoberfläche kann die Keimung verhindert werden (WHITE, 1990).

Auf dem Standort Bogen wurden zunächst Unterschiede im Vergilbungsgrad (Kalkchlorosen) im frühen Entwicklungsstadium der untersuchten Blauen Lupinen festgestellt. Diese korrelierten jedoch nicht mit dem Kornertrag. Dies stellten auch LIU und TANG (1999a) fest, die den Einfluss gekalkter saurer Böden oder alkalischer Böden auf eine Vielzahl von Weißen Lupinengenotypen untersuchten, die hierzu im Gewächshaus kultiviert wurden. Dabei zeigte sich ebenfalls, dass Gelbfärbung der Blätter nicht immer ein zuverlässiger Indikator für eine Selektion von toleranten Typen ist, da die Chlorosen nicht mit dem Sprosswachstum korrelierten. Resultate aus dem Gewächshaus konnten mit Feldversuchen auf alkalischen Böden nicht in jedem Fall bestätigt werden. Im Gegensatz dazu korrelierten Chlorosen der australischen schmalblättrigen Lupinensorte Gunguru jedoch gut mit dem Calciumcarbonatgehalt im Boden und nach einer etwa 7-wöchigen Kultivierung im Topf war das Trocken-



**Abb. 5.** Einfluss der Kalkdüngung auf den Proteingehalt in Körnern von Blauen Lupinen in den Anbaujahren 2007 und 2008.

gewicht des Sprosses mit der Chlorose negativ korreliert (BRAND et al., 1999).

Für den Anbau Blauer Lupinen war der Standort Bogen ungeeignet. Eine Differenzierung der Sorten bezüglich ihres Ertrages und Proteingehaltes auf diesem Standort mit hohem pH-Wert war nicht möglich, da alle Sorten im Reifestadium mit sehr geringem Ertrag und niedrigem Proteingehalt gleich negativ reagierten. Somit konnte im Praxisversuch auf einem Standort mit einem pH-Wert über 7,0 eine Auswahl von Sorten und Zuchtmaterial bezüglich pH-Toleranz nicht durchgeführt werden. Hier wären möglicherweise Versuche auf einem besser differenzierenden Standort mit pH-Werten zwischen 6,5 und 7,0 geeignet.

#### Untersuchungen auf einem gekalkten sauren Boden

Die schlechten Erträge und niedrigen Proteingehalte von Blauen Lupinen auf einem Standort mit hohem pH-Wert führten zu der Frage, ob eine Kalkung auf einem sauren Boden ebenfalls zu starken Ertragsdepressionen und zu einer Verringerung des Proteingehaltes im Samen führen kann.

Durch eine Kalkung auf einem sauren Boden konnte bei einem Praxisversuch in Groß Lüsewitz mit 10 Blauen Lupinen selbst im Bereich einer Gesundkalkung (6 t Kalk/ha) kein gesicherter Einfluss auf den Ertrag und den Proteingehalt der Körner festgestellt werden. Der pH-Wert konnte dabei maximal auf 6,4 im Boden angehoben werden. Blaue Lupinen sollen nach SCHMIECHEN (2002) auf Böden mit pH-Werten zwischen 5,0 und 6,8 optimale Bedingungen finden. Nach FRENCH (2002) gibt es bei Blauen Lupinen oberhalb pH-Werten von 6,5 Ertragseinbußen. In einem Experiment mit einer australischen schmalblättrigen Lupinensorte in Flüssigkultur im Gewächshaus wurde bereits ab einem pH-Wert von 6,0 eine deutliche Reduzierung der Knöllchenbildung durch Rhizobien beobachtet (TANG und ROBSON, 1993). Es kam zu einer Reduzierung der Wurzelmasse und Sprossmasse. Weiterhin sank die Stickstoffkonzentration im Spross, was auch bereits JESSOP und MAHONEY (1982) bei schmalblättrigen Lupinen feststellten. In einer Studie von TANG et al. (1992) wird berichtet, dass eine Hemmung des Wurzelwachstums in ungepufferten Lösungen mit einem pH-Wert > 6,0 größer ist, als in gepufferten Lösungen.

Im Freiland ist die Pufferwirkung des Bodens relativ hoch, sodass bei der praxisrelevanten Kalkung der ursprüngliche pH-Wert von 5,8 nur wenig angehoben werden konnte. Durch eine frische Kalkung konnten pH-Werte von 6,0 bis 6,4 im Boden erzielt werden, und durch diese veränderten sich der Kornertrag und der Proteingehalt in den Körnern im Vergleich zur ungekalkten Variante kaum (nicht signifikant,  $P \geq 0,05$ ).

Sortenunterschiede im Ertrag und im Proteingehalt sind beim Anbau Blauer Lupinen bekannt (BUNDESSORTENAMT 2004 bis 2008; GUDDAT, 2009) und sollen an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt werden. Die Sortenunterschiede im 2-jährigen Kalkversuch decken sich im Wesentlichen mit den Literaturdaten.

Auch über erhebliche Jahresunterschiede im Ertrag und im Proteingehalt wird berichtet (BUNDESSORTENAMT 2004 bis 2008; GUDDAT, 2009; KARALUS, 2010). In der vorliegenden Arbeit wurden im trockenen und warmen Anbaujahr 2008 höhere Erträge erzielt als im feuchten und kühlen Jahr 2007, obwohl bei warmen Temperaturen, insbesondere während der Blüte, aufgrund eines geringeren Hülsenansatzes geringere Erträge erwartet wurden (DOWNES and GLADSTONES, 1984; JANSEN, 2009; JANSEN et al., 2009). Als Ursache für den niedrigen Ertrag im Jahr 2007 wird vor allem der schlechte Aufgang aufgrund der kurzzeitigen Trockenheit zum Keimzeitpunkt gesehen. Höhere Proteingehalte bei höheren mittleren Temperaturen in der Vegetationsperiode zwischen Blühbeginn und Reife im Feldversuch decken sich mit den Ergebnissen zu Temperaturversuchen in Töpfen (JANSEN, 2008).

#### Schlussfolgerungen

Auf basischen Böden mit einem pH-Wert über 7,0 reagieren Blaue Lupinen mit erheblichen Ertragsdepressionen und geringen Proteingehalten. Diese Böden eignen sich nicht für eine Auswahl von Sorten bezüglich pH-Toleranz, da alle untersuchten Sorten schlechte Erträge und niedrige Proteingehalte aufwiesen.

Eine praxisnahe Kalkung auf einem sauren Boden, die aufgrund der Pufferwirkung des Bodens nur zu einer geringen Verschiebung des pH-Wertes führt, hat keinen gesicherten Einfluss auf den Ertrag und den Proteingehalt Blauer Lupinen.

#### Danksagung

Die Autoren danken Frau Dr. Christiane BALKO und Herrn Dr. Frank ORDON für die hilfreiche Diskussion der Ergebnisse sowie Frau Margrit JUGERT für die gute technische Assistenz.

Wir bedanken uns beim BMELV sowie bei der BLE für die Forschungsförderung unter dem Förderkennzeichen 03OE355.

#### Literatur

- BRAND, J.D., C. TANG, A.J. RARTHJEN, 1999: Adaptation of *Lupinus angustifolius* L. and *L. pilosus* Murr. to calcareous soils. Australian Journal of Agricultural Research **50**, 1027-1033.
- BRAND, J.D., C. TANG, A.J. RARTHJEN, 2002: Screening rough-seeded lupins (*Lupinus pilosus* Murr. and *Lupinus atlanticus* Glads.) for tolerance to calcareous soils. Plant and Soil **245**, 261-275.
- BUNDESSORTENAMT, (Hrsg.), 2004 bis 2008: Beschreibende Sortenliste: Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen (großkörnig), Hackfrüchte (außer Kartoffeln). Hannover, Deutscher Landwirtschaftsverlag.
- DIEPENBROCK, W., G. FISCHBECK, K.-U. HEYLAND, N. KNAUER, 1999: Spezieller Pflanzenbau, 3. Aufl., Stuttgart, Ulmer.
- DOWNES, R.W., J.S. GLADSTONES, 1984a: Physiology of growth and seed production in *Lupinus angustifolius* L. I. Effects on pod and seed set of controlled short duration high temperatures at flowering. Australian Journal of Agricultural Research **35**, 493-499.

- FRENCH, R.J., 2002: Soil factors influencing growth and yield of narrow-leaved lupin and field pea in Western Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* **53**, 217-225.
- GLADSTONES, J.S., 1970: Lupins as crop plants. *Field Crop Abstracts* **23**, 123-148.
- GUDDAT, C., 2009: Landessortenversuche zu Körnerleguminosen in den ostdeutschen Bundesländern – Ergebnisse aus der Arbeit der Länderdienststellen Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. *Journal für Kulturpflanzen* **61** (9), 318-323.
- ITADA: Entwicklung praxistauglicher Strategien für den ökologischen Anbau von Eiweißpflanzen am Oberrhein, Abschlussbericht zum Projekt 05. <http://www.itada.org/download.asp?id=ab05Dlinked.pdf>
- JANKAUSKAS, B., E. OTABBONG, 2004: Combined N, P, K fertilization and liming maximises crop productivity of acid loams in Lithuania. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil and Plant Sciences* **54**, 60-66.
- JANSEN, G., 2008: Effects of temperature on the yield and protein content of cultivars of *Lupinus angustifolius*. In J.A. PALTA and J.B. BERGER (eds): *Lupins for Health and Wealth. Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Lupin Conference*, 14.-18.09.2008, Fremantle, Western Australia, 342-345.
- JANSEN, G., 2009: Effects of temperature on yield parameters of *Lupinus angustifolius* and *Pisum sativum* cultivars. *Crop Plant Resistance to Biotic and Abiotic Factors: Current Potential and Future Demands*, 3rd Int. Symposium on Plant Protection and Plant Health in Europe, 14.-16.05.2009, Berlin Dahlem, Proceedings, 100.
- JANSEN, G., H.-U. JÜRGENS, W. FLAMME, 2005: Einfluss von Standort und Sorte auf ausgewählte Qualitätsparameter ökologisch erzeugter Lupinen für die Nutztierfütterung. *Landbauforschung Völkenrode*, **SH 290**, 1-9.
- JANSEN, G., H.-U. JÜRGENS, F. ORDON, 2009: Effects of Temperature on the Alkaloid Content of Seeds of *Lupinus angustifolius* Cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science* **195**, 172-177.
- JESSOP, R.S., J. MAHONEY, 1982: Effects of lime on the growth and nodulation of 4 grain legumes. *Australian Journal of Soil Research* **20**, 265-268.
- KARALUS, W., 2010: Sortenempfehlungen 2010, Körnererbsen, Ackerbohnen, Lupinen, Freistaat Sachsen [http://www.landwirtschaft.sachsen.de/lfl/publikationen/download/4582\\_1.pdf](http://www.landwirtschaft.sachsen.de/lfl/publikationen/download/4582_1.pdf)
- KERLEY, S.J., 2000a: The effect of soil liming on shoot development, root growth and cluster root activity of white Lupin. *Biology and Fertility of Soils* **32**, 94-101.
- KERLEY, S.J., 2000b: Changes in root morphology of white lupine (*Lupinus albus* L.) and its adaptation to soils with heterogeneous alkaline/acid profiles. *Plant and Soil* **218**, 197-205.
- KERLEY, S.J., C. HUYGHE, 2001: Comparison of acid and alkaline soil and liquid culture growth systems for studies of shoot and root characteristics of white Lupin (*Lupinus albus* L.) genotypes. *Plant and Soil* **236**, 275-286.
- KERLEY, S.J., C. HUYGHE, 2002: Stress-induced changes in the root architecture of white lupin (*Lupinus albus*) in response to pH, bicarbonate, and calcium in liquid culture. *Ann. Appl. Biol.* **141**, 171-181.
- LIU, A., C. TANG, 1999a: Comparative performance of *Lupinus albus* genotypes in response to soil alkalinity. *Australian Journal of Agricultural Research* **50**, 1435-1442.
- LIU, A., C. TANG, 1999b: Responses of two genotypes of *Lupinus albus* L. to zinc application on an alkaline soil. *Journal of Plant Nutrition* **22**, 467-477.
- PEITER, E., F. YAN, S. SCHUBERT, 2001a: Lime-induced growth depression in Lupinus species: are soil pH and bicarbonate involved? *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **164**, 165-172.
- PEITER, E., F. YAN, S. SCHUBERT, 2000: Are mineral nutrients a critical factor for lime intolerance of Lupins? *Journal of Plant Nutrition* **23**, 617-635.
- PEITER, E., F. YAN, S. SCHUBERT, 2001b: Proteoid root formation of *Lupinus albus* L. is triggered by high pH of the root medium. *Journal of Applied Botany* **75**, 50-52.
- SAS Institute, Inc., 1999: *SAS/STAT User's Guide*, version 8, Cary, NC, USA.
- SAUERMAN, W., 2008: Sortenempfehlungen für Blaue Süßlupinen 2009 in Schleswig-Holstein [http://lwks.de/cms/fileadmin/user\\_upload/Downloads/Pflanzenbau/OEL\\_und\\_Eiweisspflanzen/2009/Blaue\\_Suesslupinen\\_2008\\_LSV\\_Kornertraege.pdf](http://lwks.de/cms/fileadmin/user_upload/Downloads/Pflanzenbau/OEL_und_Eiweisspflanzen/2009/Blaue_Suesslupinen_2008_LSV_Kornertraege.pdf)
- SCHINAS, S., D.L. ROWELL, 1977: Lime-induced chlorosis. *Journal of Soil Science* **28**, 351-368.
- SCHMIECHEN, U., 2002: UFOP-Praxisinformationen – Anbauratgeber Blaue Süßlupine. Internetpräsentation: [www.ufop.de](http://www.ufop.de)
- TANG, C.X., N.E. LONGNECKER, C.J. THOMSON, H. GREENWAY, A.D. ROBSON, 1992: Lupin (*Lupinus angustifolius* L) and Pea (*Pisum sativum* L) roots differ in their sensitivity to pH above 6.0. *Journal of Plant Physiology* **140**, 715-719.
- TANG, C., B.T. COBLEY, S. MOKHTARA, C.E. WILSON, H. GREENWAY, 1993: High pH in the nutrient solution impairs water-uptake in *Lupinus angustifolius* L. *Plant and Soil* **156**, 517-519.
- TANG, C.X., A.D. ROBSON, 1993: pH above 6.0 reduces nodulation in Lupinus species. *Plant and Soil* **152**, 269-276.
- TANG, C.X., A.D. ROBSON, 1993: Lupinus species differ in their requirements for iron. *Plant and Soil* **157**, 11-18.
- TANG, C.X., A.D. ROBSON, 1995: Nodulation failure is important in the poor growth of 2 Lupin species on an alkaline Soil. *Australian Journal of Experimental Agriculture* **35**, 87-91.
- WHITE, P.F., 1990: Soil and Plant Factors Relating to the Poor Growth of Lupinus Species on Fine-textured, Alkaline Soils – a Review. *Australian Journal of Agricultural Research* **41**, 871-890.