

8 Wurzelfraß durch die Larven von *Sitona lineatus* L. (Col., Curculionidae) in *Pisum sativum* L. (Körnererbsen): Besteht ein Zusammenhang zwischen dem Ertragsverlust und der Abundanz der Imagines?

Von Katharina Lohaus und Stefan Vidal

Summary

8 Root feeding by larvae of *Sitona lineatus* L. (Col., Curculionidae) on *Pisum sativum* L. (pea): Is the yield linked to the abundance of adult weevils?

In field surveys we investigated the relationship between the damage to the root nodules of pea (*Pisum sativum* L.) by the larvae of the pea leaf weevil (*Sitona lineatus* L.) and the abundance of adult weevils. Additionally we studied the impact of weevil density on the yield parameters number of seeds/plant, pods/plant, seeds/pod and thousand-seed weight in cage experiments.

Provided that average yields are attained increasing abundances above 20 weevils/m² caused no significantly higher larval damage and consequently no significantly higher yield losses. It can be assumed that the relationship between yield parameters and weevil density is mainly determined by the density dependent mortality of the larvae which is finally linked to the nodulation of the pea plants. Densities of 20 individuals/m² led to a decrease in the number of seeds/plant and pods/plant of 18 % and 15 % respectively. The parameters seeds/pod and thousand-seed weight remained unaffected. Moreover there was no adverse effect concerning the n-harvest indices (direct dependence to the nitrogen fixation capability) and the contents of plant available nitrogen in the soil in autumn (indirect dependence) at higher weevil abundances. The destruction of root nodules of about 40 % (primary root) resulting from weevil densities of 20 individuals/m² and subsequent larval densities of 7 individuals/m² was clearly below the values coming from other studies.

Zusammenfassung

Unter praxisnahen Freilandbedingungen haben wir untersucht, ob zwischen dem Knöllchenfraß der Larven des Erbsenrüsslers (*Sitona lineatus* L.) an Körnererbse (*Pisum sativum* L.) und der Abundanz der Imagines ein Zusammenhang besteht. Um die Ertragsparameter in Abhängigkeit von der Käferdichte aufzunehmen, wurden zeitgleich Käfigexperimente durchgeführt.

Unter der Voraussetzung eines mittleren Ertragsniveaus führten Abundanzen von mehr als 20 Käfern pro m² nicht zu einer signifikant höheren larvalen Schädigung und damit nicht zu signifikant höheren Ertragsverlusten. Ursache dieser nicht vorhandenen Abhängigkeit der Ertragsreduktion von der Befallsstärke der Imagines ist die dichteabhängige Mortalität der Larven. Das Überleben der Larven wiederum und damit die Toleranz der Körnererbse gegenüber *S. lineatus* stehen im Zusammenhang mit der Nodulation des Bestandes, die das Niveau des larvalen Schadens und somit auch das der Ertragsverluste festlegt. Bei Individuendichten von 20 Käfern/m² wurden die Ertragsparameter Samen/Pflanze bzw. Hülsen/Pflanze um 18 % bzw. 15 % reduziert. Demgegenüber blieben die Anzahl Samen pro Hülse und das Tausendkorngewicht unbeeinflusst. Zudem konnte oberhalb dieser Abundanzen keine weitere Beeinträchtigung der N-Harvest-Indices (direkte Abhängigkeit zur Stickstoff-Fixierungsleistung) sowie der Gehalte an pflanzenverfügbarem Bodenstickstoff (indirekte Abhängigkeit) im Herbst festgestellt werden. Die bei einer Käferdichte von 20 Individuen/m² und daraus resultierender Larvendichte von 7 Individuen/Pflanze ermittelte prozentuale Beschädigung der Hauptwurzel lag bei 40 % und damit deutlich unterhalb der in bisherigen Studien ermittelten Werte.

Einleitung

Leguminosen spielen aufgrund ihrer Fähigkeit zur symbiontischen Fixierung des molekularen Luftstickstoffs eine Schlüsselrolle im ökologischen Landbau und insbesondere in Betrieben mit viehloser Bewirtschaftung. Körnerleguminosen wie Erbse (*Pisum sativum*) sind von besonderer Bedeutung, da sie dem System Stickstoff zuführen, der zur Erzielung proteinhaltiger Erträge genutzt werden kann. Gleichzeitig wird die Stickstoff-Versorgung der nachfolgenden Kultur garantiert (FIBL-BERICHT 2006). Der Erbsenrüssler (*Sitona lineatus*) gilt seit langem als der am weitesten verbreitete und bedeutendste Schaderreger in Körnererbsen (JACKSON 1920, TAUPIN & COLLIN 1998). Der besondere Status von *S. lineatus* im ökologischen Landbau beruht auf der Polyphagie der Imagines, deren Wirtspflanzenspektrum eine Vielzahl kultivierter und wilder Leguminosen einschließt (SCHNELL 1955, DIECKMANN 1980). Somit können sich in ökologischen Fruchtfolgesystemen, bedingt durch das räumliche Nebeneinander und zeitliche Nacheinander von Wirtspflanzen, im Laufe der Jahre hohe Populationen dieses Schaderregers aufbauen (KIENEGGER et al. 2005, MÖLLER et al. 2006). Während mehrjährige Leguminosen als Überwinterungs- und Alternativhabitate dienen, werden zur Reproduktion ausschließlich eiweißreiche einjährige Leguminosen wie *P. sativum* oder *Vicia faba* L. (Ackerbohnen) aufgesucht (MURRAY & CLEMENTS 1995). Das hohe Reproduktionsvermögen von *S. lineatus* in Erbsen ist in mehreren Studien beschrieben worden (MARKKULA 1959, SCHOTZKO & O'KEEFE 1988, CANTOT 2001). Dabei schwanken die von LERIN et al. (1993) und SCHOTZKO (1981) pro Weibchen und Ovipositionsperiode angegebenen Werte in weiten Grenzen zwischen 1000 und 3000 Eiern.

Im Gegensatz zum Blattfraß der Imagines, der nur selten ertragsrelevante Ausmaße erreicht (GEORGE 1962, WILLIAMS et al. 1995), wird die Zerstörung der Wurzelknöllchen durch die Larven von *S. lineatus* allgemein als ertragsbegrenzender Faktor angesehen (OSCHMANN 1984, DORE & BOUTHIER 1991). Neben der direkten Schädigung der Kultur kommt es dabei auch zu einer Minderung ihres Vorfruchtwertes und damit zu einer Störung in der Stickstoffbilanz ökologischer Anbausysteme (CORRE-HELLOU & CROZAT 2005). Abgesehen von der zeitaufwändigen Erfassung des larvalen Schadens und den

damit verbundenen methodischen Schwierigkeiten (HUNTER 2001), muss eine in die Praxis umsetzbare Methode zur Abschätzung von Ertragsverlusten über die Erfassung der Imagines oder des durch sie verursachten Blattfraßes erfolgen.

Zum jetzigen Zeitpunkt liegen keine Studien zur Abhängigkeit des larvalen Schadens von der Abundanz der Imagines von *S. lineatus* vor. Untersuchungen aus Frankreich bestätigen lediglich einen positiven Zusammenhang zwischen dem Fraßschaden der Imagines und der Abundanz der Larven (CANTOT, 1986) bzw. dem nachfolgend durch sie verursachten Schaden (DORE & MEYNARD 1995). Demgegenüber weisen LANDON et al. (1995) und SCHOTZKO & QUISENBERRY (1999) darauf hin, dass der Fraßschaden nur einen Anhaltspunkt für die Populationsdichte der Imagines von *S. lineatus* liefern kann. Die Versuche von CANTOT (1986) sowie DORE & MEYNARD (1995) wurden zudem unter Halb-Freiland Bedingungen bzw. kleinflächig durchgeführt und gestatten daher keine Übertragung der Ergebnisse auf reale Feldbedingungen. Während in mehreren Versuchen die Ertragsbeeinflussung durch *S. lineatus* in *V. faba* beschrieben wird (BARDNER et al. 1983, OSCHMANN 1984, NIELSEN 1990), liegen bisher keine Freilandstudien zur Befalls-Verlust-Relation in *P. sativum* vor, die den larvalen Schaden in Abhängigkeit zur Abundanz der Imagines stellen. Eine Ausnahme bilden die von RAVN & JENSEN (1992) durchgeführten Topfversuche unter Freilandbedingungen (Halb-Freiland Versuche).

Um unter praxisnahen Freilandbedingungen zu prüfen, ob von der Abundanz der Imagines auf den nachfolgend durch die Larven verursachten Schaden an den Wurzelknöllchen der Erbsenpflanzen geschlossen werden kann, wurden von 2002 bis 2005 Studien auf den Flächen eines ökologisch wirtschaftenden Betriebes durchgeführt. Innerhalb dieses Zeitraumes wurden in zweijährigen Versuchen zusätzlich die Erträge und Ertragsparameter der Erbsen erfasst, um die durch die Larven von *S. lineatus* verursachten Verluste zu quantifizieren. Dazu wurden neben der unter natürlichen Befallsbedingungen (Freiland-Bedingungen) ermittelten Käferdichte kontrollierte Dichten in 1 m² großen Käfigen eingestellt (Halb-Freilandbedingungen).

Material und Methoden

Untersuchungsgebiet

Die Erhebungen wurden in Norddeutschland, etwa 60 km nordöstlich von Hamburg (Kreis Herzogtum Lauenburg, Schleswig-Holstein) durchgeführt. *P. sativum* war Bestandteil einer fünfgliedrigen ökologischen Fruchtfolge mit einem circa 40 %igen Leguminosenanteil. Untersucht wurde auf jeweils einer Ackerfläche pro Jahr ein begrenztes Areal von 5 ha (250 · 200 m²). Während des vierjährigen Untersuchungszeitraumes wurden die halbblattlosen Sorten Madonna (2002, 2004) und Santana (2003, 2005) angebaut. Die Bodenarten können als sandige bzw. lehmige Sande (s. Kap. 4) mit einer nutzbaren Feldkapazität zwischen 6 und 21 mm (Vol. %) angesprochen werden.

Versuchsdurchführung 2002 und 2003

Während der Blattentwicklung der Erbsen (BBCH 11-19) wurde in viertägigen Intervallen der durch die Imagines von *S. lineatus* verursachte Schaden erfasst. Dazu wurden an 14 randomisiert verteilten Probenahmestellen innerhalb des Areals jeweils 10 Pflanzen markiert und die Anzahl der charakteristischen Fraßstellen der einzelnen Blätter aufgenommen. Zur Erfassung der Dichte der Imagines erfolgten zeitgleich Saugproben mit einem Laubsauger (STIHL BG 85) auf einer Fläche von jeweils 0,25 m² in unmittelba-

rer Nähe der markierten Pflanzen ($14 \cdot 0,25 \text{ m}^2$). Die Imagines von *S. lineatus* wurden nach dem Bestimmungsschlüssel von DIECKMANN (1980) identifiziert.

Da der Blühbeginn der Kultur als der günstigste Zeitpunkt zur Bestimmung der Larvendichte angesehen wird (CANTOT 1986, DORE & MEYNARD 1995) wurde in BBCH 61 der durch die Larven von *S. lineatus* verursachte Schaden an den Wurzeln erfasst. Dazu wurden die markierten Pflanzen geerntet und die Gesamtzahl sowie die Anzahl beschädigter Wurzelknöllchen an der Hauptwurzel festgehalten ($14 \cdot 10$ Pflanzen). Zeitgleich dienten Bodenproben auf einer Fläche von jeweils $1/64 \text{ m}^2$ ($12,5 \cdot 12,5 \text{ cm}$) und in 15 cm Tiefe der Erfassung der Larvendichte ($14 \cdot 1/64 \text{ m}^2$). Jede Bodenprobe enthielt jeweils zwei der markierten Pflanzen. Die Larven von *S. lineatus* wurden nach dem Schlüssel von SCHERF (1964) bestimmt.

Versuchsdurchführung 2004 und 2005

Aufgrund der Erfassung der durch *S. lineatus* beeinflussten Ertragsparameter ergibt sich der gegenüber den Vorjahren abweichende Versuchsaufbau in 2004 und 2005.

In beiden Versuchsjahren wurden innerhalb des oben beschriebenen Arealen an jeweils sechs randomisiert verteilten Stellen zwölf Gazeekäfige ($6 \cdot 2$) mit einer Grundfläche von je 1 m^2 aufgestellt. Pro Jahr dienten sechs dieser Käfige dem Ausschluss von *S. lineatus* (Kontroll-Variante), während in den anderen sechs benachbarten Käfigen ein definierter Befall eingestellt wurde (Befalls-Variante). Dazu wurden insgesamt 40 geschlechtsreife Individuen in 2004 und 100 geschlechtsreife Individuen pro Käfig in 2005 ausgesetzt. Das Geschlecht wurde nach JACKSON (1920) bestimmt und die Tiere wurden in einem Verhältnis von $60\text{♀} : 40\text{♂}$ in den Käfigen freigelassen. Die eine Hälfte der Käfer wurde jeweils mit Befallsbeginn (BBCH 13 in 2004; BBCH 12 in 2005), die andere Hälfte etwa eine Woche später (BBCH 15 in 2004 und BBCH 14 in 2005) ausgesetzt. Um das Ein- bzw. Abwandern der Larven zu verhindern, wurden die Käfige bis in 25 cm Bodentiefe mit Metallplatten umgeben. Zur Erfassung des Schadens unter natürlichen Befallsbedingungen wurden pro Jahr sechs 1 m^2 große Parzellen im Feld in unmittelbarer Nähe der Kontroll- bzw. Befalls-Käfige abgesteckt (Feld-Variante).

Während der Blattentwicklung der Erbsen (BBCH 11-19) erfolgten, wie in 2002 und 2003 beschrieben, Saugproben zur Erfassung der Käferdichte im Feld an zwölf bzw. $6 \cdot 2$ Probenahmestellen ($12 \cdot 0,25 \text{ m}^2$). Zur Ermittlung des larvalen Schadens wurden zu Blühbeginn (BBCH 61) in den Befalls- und Feld-Varianten die Gesamtzahl sowie die Anzahl zerstörter Wurzelknöllchen an der Hauptwurzel an jeweils sechs Pflanzen pro Käfig bzw. Parzelle ausgezählt ($12 \cdot 6$ Pflanzen). Zeitgleich dienten Bodenproben in den Befalls- und Feld-Varianten der Erfassung der Larvendichte ($12 \cdot 1/64 \text{ m}^2$).

Zur Ernte (BBCH 85) wurden in allen Varianten der Gesamtertrag des Korns und Strohs (TM in g/m^2), die Ertragsparameter Anzahl Hülsen/Pflanze, Samen pro Pflanze und das Tausendkorngewicht (TKG in g) aufgenommen ($N = 6/\text{Variante}$). Neben der Anzahl Pflanzen/ m^2 wurde die Wuchshöhe notiert. Die Stickstoff-Gehalte der Erbsenpflanzen des Korns und Strohs (% N in TM) wurden nach der Methode von DUMAS (1981) analysiert (CNS-2000, LECO). Die aus den Gesamterträgen bzw. Stickstoff-Gehalten abgeleiteten TM- (TM Korn/TM Gesamt in g) und N-Harvest-Indices (% N der TM Korn/% N der TM Gesamt in g) wurden zu einer detaillierteren Interpretation des Ertrags berechnet. Zur Ermittlung des mineralischen Bodenstickstoffs (N-min in kg/ha) wurden zur Ernte (Residualwert) sowie sechs Wochen später Bodenproben in 0-90 cm Tiefe entnommen. Eine Bodenprobe pro Standort ($6 \cdot 1$) (0-90 cm) wurde zur Erfassung

standortspezifischer Unterschiede zu Beginn der Vegetationsperioden entnommen. Die Analysen des mineralischen Bodenstickstoffs erfolgten in Anlehnung an die Methodik des Verbands der Deutschen Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA 1991) durch das Agrikulturchemische Institut der Georg-August-Universität Göttingen.

Statistik

Zur Korrelation zweier Variablen wurde eine lineare Regressionsanalyse mit SigmaPlot 2000 for Windows 8.0 (SPSS Inc. 2000) durchgeführt. Systat 10 for Windows (SPSS Inc. 2000) wurde für die übrigen Berechnungen verwendet. Für den Vergleich der Larvendichten wurde eine Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt. Für den Vergleich der Anzahl zerstörter Wurzelknöllchen wurde eine Kovarianzanalyse durchgeführt, wobei die Anzahl Wurzelknöllchen/Pflanze (Hauptwurzel) als Kovariate diente. Um Unterschiede hinsichtlich des Ertrags, der Ertragskomponenten sowie der Indices abzuschätzen, wurden die Daten mit einer Kovarianzanalyse (ANCOVA) und anschließend LSD-Test analysiert. Die Anzahl Pflanzen pro m^2 und die Wuchshöhe dienten als Kovariaten, um einen eventuellen Einfluss der Käfig- gegenüber den Feldvarianten zu korrigieren. Die N-min Proben wurden mit einer Varianzanalyse (ANOVA) und anschließend LSD-Test analysiert.

Ergebnisse

2002 und 2003

In 2002 wurde mit 2,2 Käfern/ m^2 eine erheblich niedrigere maximale Abundanz ermittelt als in 2003 mit 14,9 Käfern/ m^2 . Bei nachfolgend höherer Larvendichte in 2003 (Abb. 1) gegenüber 2002, war die Anzahl der beschädigten Knöllchen/ Pflanze (Hauptwurzel) im Vergleich zum Vorjahr nur geringfügig erhöht.

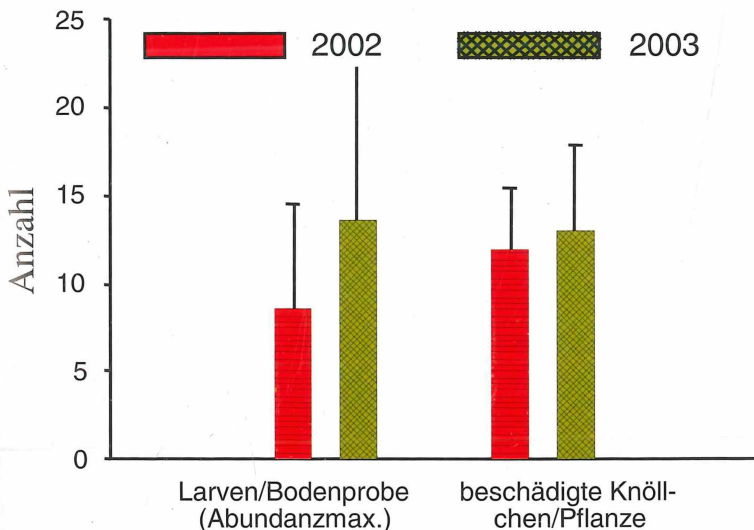


Abb. 1: Mittlere Larvendichte und larvaler Schaden ($\pm$ SD) in 2002 und 2003.

In beiden Jahren konnte kein Zusammenhang zwischen der Anzahl beschädigter Knöllchen und der zum Abundanzmaximum der Imagines vorhandenen Anzahl Fraßstellen pro Pflanze am 1. Laubblatt ($R^2 = 0,164$; $P = 0,15$ in 2002; $R^2 = 0,073$; $P = 0,35$ in 2003) oder an den Laubblättern 2.-6. ($R^2 = 0,063$; $P = 0,39$ in 2002; $R^2 = 0,116$; $P = 0,23$ in 2003) festgestellt werden. Auch zwischen der Anzahl beschädigter Knöllchen und der Dichte der Imagines zum Abundanzmaximum bestand kein signifikanter Zusammenhang ($R^2 = 0,001$; $P = 0,92$ in 2002; $R^2 = 0,015$; $P = 0,67$ in 2003).

Ein Zusammenhang zwischen dem Schaden und der jeweiligen Individuendichte wurde in keinem Untersuchungsjahr ermittelt (Tab. 2). Zum Abundanzmaximum der Imagines konnte weder die Anzahl Fraßstellen der verschiedenen Blättertagen in Beziehung zur ihrer Dichte, noch konnte die Anzahl beschädigter Knöllchen der beiden Pflanzen, die mit der Bodenprobe erfasst wurden, in Beziehung zur Larvendichte gesetzt werden. Auch zwischen der Abundanz der Imagines und den nachfolgend im Boden schlüpfenden Larven bestand kein signifikanter Zusammenhang.

Tab. 2: Beziehung zwischen den untersuchten Parametern in A = 2002, B = 2003. (n.s. = nicht signifikant; (neg.) = negative Korrelation; ☒ = nicht untersucht

	Fraßstellen pro Pflanze; 1.LB	Fraßstellen pro Pflanze; 2.- 6.LB	beschädigte Knöllchen (2 Pflanzen)	Larven (Abundanzmaximum)
Imagines (Abundanzmaximum)	A : n.s. (neg.) B : n.s. (neg.)	A : n.s. B : n.s. (neg.)	☒	A : n.s. B : n.s.
Larven (Abundanzmaximum)	☒	☒	A : n.s. B : n.s.	☒

2004 und 2005
Imagines und Larven

In den Feld-Varianten wurde ein Abundanzmaximum der Imagines von 12,6 Käfern/m² in 2004 und 19,7 Käfern/m² in 2005 ermittelt. In beiden Untersuchungsjahren bestanden keine signifikanten Unterschiede in der Anzahl beschädigter Knöllchen pro Pflanze zwischen den Befalls- und Feld-Varianten (Abb. 2) (ANCOVA 2004: SS= 4,3; F= 0,56; P= 0,471; ANCOVA 2005: SS= 4,1; F= 0,47; P= 0,506). Damit konnte trotz der sehr viel höheren Käferdichte in den Befalls- gegenüber den Feld-Varianten (40 vs. 12,7 Individuen/m² in 2004; 100 vs. 19,7 Individuen/m² in 2005) keine signifikant höhere Schädigung durch die Larven nachgewiesen werden. In 2004 wurden zudem keine signifikanten Unterschiede in der Larvendichte zwischen den Varianten bonitiert (ANOVA: SS = 56,3; F= 1,32; P= 0,278). Demgegenüber führte die höhere Käferdichte der Befalls-Variante in 2005 zu signifikant höheren Larvendichten im Vergleich zur Feld-Variante (ANOVA SS = 507,0; F= 9,57; P= 0,011). Dabei war der Anteil junger Larvenstadien (L1 und L2-Larven) in der Befalls-Variante mit 21 % deutlich gegenüber der Feld-Variante mit nur 10 % erhöht.

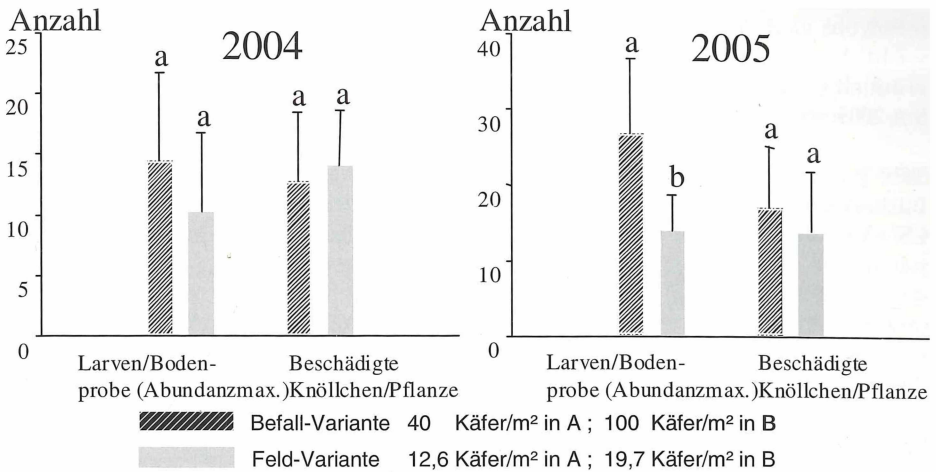


Abb. 2 Mittlere Larvendichte und larvaler Schaden in Befalls- und Feld-Varianten $\pm$ SD in den Jahren 2004 und 2005. Ungleiche Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede hin (ANOVA, $P = 0,05$; Larvendichte; ANCOVA, $P = 0,05$; larvaler Schaden).

Die aus der Anzahl beschädigter Knöllchen/Pflanze (Hauptwurzel) berechnete prozentuale Beschädigung war in 2005 trotz höherer Larvendichte relativ niedriger als in 2004 (37 % Feld- bzw. 48 % Befalls-Variante in 2005 vs. 57 % Feld- bzw. 55 % Befalls-Variante in 2004). Dieses Ergebnis weist auf den insgesamt höheren Knöllchenbesatz der Erbsenpflanzen in 2005 hin.

Erträge und Ertragsparameter

In beiden Untersuchungsjahren wurden in den Befalls- und Feldvarianten signifikant niedrigere Erträge (ANCOVA 2004: $SS = 86547,5$; $F = 10,62$; $p = 0,044$ und $p < 0,001$; ANCOVA 2005: $SS = 131607,1$; $F = 50,53$; $p < 0,001$ und $p < 0,001$) sowie eine signifikant niedrigere Anzahl Samen/Pflanze (ANCOVA 2004: $SS = 143,1$; $F = 4,00$; $p = 0,041$ und $P = 0,020$; ANCOVA 2005: $SS = 203,7$; $F = 4,21$; $p = 0,014$ und $p = 0,052$) gegenüber der Kontrolle ermittelt (Tab. 3 und 4). In beiden Jahren unterschied sich auch die Ertragskomponente Hülsen pro Pflanze der Befalls-Varianten signifikant von der Kontrolle (ANCOVA 2004: $SS = 7,1$; $F = 6,38$; $p = 0,020$; ANCOVA 2005: $SS = 7,3$; $F = 2,60$; $p = 0,042$). Dagegen war die niedrigere Anzahl Hülsen/Pflanze der Feld-Variante gegenüber der Kontrolle nur in 2004 signifikant verschieden (ANCOVA 2004: $SS = 7,1$; $F = 6,38$; $p = 0,004$; ANCOVA 2005: $SS = 7,3$; $F = 2,60$; $p = 0,145$). Der Befall durch *S. lineatus* führt demnach - bei unveränderter Ertragskomponente Samen pro Hülse - (ANCOVA 2004: $SS = 0,08$; $F = 0,26$, $p = 0,778$; ANCOVA 2005: $SS = 0,16$; $F = 0,43$; $p = 0,656$) zu einer signifikanten Reduktion der Anzahl Samen pro Pflanze bzw. zu einer Reduktion der Anzahl Hülsen pro Pflanze. Trotz der höheren Käferdichte in der Befalls- gegenüber der Feld-Variante (40 vs. 12,7 Individuen/m² in 2004; 100 vs. 19,7 Individuen/m² in 2005), zeigten sich in beiden Jahren bezüglich der Anzahl Samen/Pflanze (ANCOVA 2004: $SS = 143,1$; $F = 4,00$; $p = 0,716$; ANCOVA 2005: $SS = 203,7$; $F = 4,21$; $p = 0,501$) und der Anzahl Hül-

sen pro Pflanze (ANCOVA 2004: SS = 7,1; F = 6,38; p = 0,427; ANCOVA 2005: SS = 7,3; F = 2,60; p = 0,500) keine signifikanten Unterschiede zwischen diesen Varianten.

Sowohl in 2004 als auch in 2005 konnte ein signifikant niedrigeres Tausendkorngewicht der Feld-Variante gegenüber den eingekäfigten Kontroll- und Befalls-Varianten ermittelt werden (ANCOVA 2004: SS = 4983,3; F = 5,72; p = 0,007 und p = 0,018; ANCOVA 2005: SS = 2927,6; F = 20,25; p < 0,001 und p < 0,001).

Tab. 3: Mittlere Erträge und Ertragsparameter der Varianten ($\pm$ SD) in 2004. Ungleiche Buchstaben innerhalb der Spalten weisen auf signifikante Unterschiede hin (ANCOVA, LSD-Test, P = 0,05).

Variante	Ertrag (g/m ²)	TKG (g)	Samen pro Pflanze	Hülsen pro Pflanze	Samen pro Hülse
Kontrolle	439,3 $\pm$ 69,4 a	200,0 $\pm$ 19,6 a	26,8 $\pm$ 5,7 a	6,1 $\pm$ 0,9 a	4,3 $\pm$ 0,4 a
Befall	358,4 $\pm$ 69,0 b	200,6 $\pm$ 25,9 a	21,3 $\pm$ 3,2 b	5,0 $\pm$ 0,5 b	4,2 $\pm$ 0,3 a
Feld	269,5 $\pm$ 51,5 c	162,2 $\pm$ 22,6 b	20,4 $\pm$ 3,2 b	4,7 $\pm$ 0,8 b	4,4 $\pm$ 0,4 a

Die in 2004 in der Feld- gegenüber der Befalls-Variante ausgezählte höhere Anzahl beschädigter Wurzelknöllchen (Abb. 2 A), korrespondiert mit einer niedrigeren Anzahl Samen/Pflanze und Hülsen/Pflanze. Diese Werte stehen jedoch im Widerspruch zu der deutlich niedrigeren Käfer- und Larvendichte der Feld- im Vergleich zur Befalls-Variante.

Tab. 4: Mittlere Erträge und Ertragsparameter der Varianten ($\pm$ SD) in 2005. Ungleiche Buchstaben innerhalb der Spalten weisen auf signifikante Unterschiede hin (ANCOVA, LSD-Test, P = 0,05).

Variante	Ertrag (g/m ²)	TKG (g)	Samen pro Pflanze	Hülsen pro Pflanze	Samen pro Hülse
Kontrolle	597,5 $\pm$ 47,5 a	225,0 $\pm$ 6,8 a	30,4 $\pm$ 5,1 a	6,9 $\pm$ 1,0 a	4,4 $\pm$ 0,5 a
Befall	425,8 $\pm$ 30,0 b	222,2 $\pm$ 11,3 a	22,5 $\pm$ 5,2 b	5,4 $\pm$ 0,9 b	4,2 $\pm$ 0,3 a
Feld	406,8 $\pm$ 39,1 b	196,6 $\pm$ 6,5 b	24,9 $\pm$ 6,3 b	5,8 $\pm$ 1,5 ab	4,3 $\pm$ 0,4 a

Ertragsindices

Die Trockenmasse- und N-Harvest-Indices entsprachen dem Ertragsniveau des jeweiligen Jahres bei wesentlich höheren Werten der Kontrolle bzw. einzelnen Varianten in 2005 (Tab. 5 und 6).

In 2004 bestanden trotz signifikanter Differenzen im Ertrag zwischen Kontroll- und Befalls-Variante (vergl. Tab. 3) keine Unterschiede im TM-Index (ANCOVA: SS = 0,01; F = 4,39; p = 0,374). Aufgrund ähnlich hoher Stickstoff-Gehalte des Korns (4,5 % Kontroll-Variante vs. 4,3 % Befalls-Variante) und des Stroh (1,6 % Kontroll-Variante vs. 1,5

% Befalls-Variante), wiesen auch die N-Harvest-Indices der Kontroll- und Befalls-Variante nahezu identische Werte auf (ANCOVA: SS = 0,04; F = 7,76; p = 0,592). Demgegenüber konnten signifikant niedrigere TM- (ANCOVA: SS = 0,01; F = 4,39; p = 0,011) und N-Harvest-Indices (ANCOVA: SS = 0,04; F = 7,76; p = 0,002) der Feld- gegenüber der Kontroll-Variante ermittelt werden. Die Stickstoff-Gehalte der Feld-Variante (4,4 % Korn; 1,8 % Stroh) unterschieden sich dabei nicht von den Werten der Kontroll- und Befalls-Varianten.

In 2005 bestätigten die signifikant höheren TM- (ANCOVA: SS = 0,01; F = 5,27; p = 0,045 und p = 0,006) und N-Harvest-Indices (ANCOVA: SS = 0,02; F = 0,01; p = 0,037 und p = 0,001) der Kontroll-Variante gegenüber den Befalls- und Feld-Varianten die Ertragsunterschiede zwischen den Varianten (Tab. 4). Dabei unterschieden sich weder die TM- (ANCOVA: SS = 0,01; F = 5,27; p = 0,337) noch die N-Harvest-Indices (ANCOVA: SS = 0,02; F = 0,01; p = 0,128) der Befalls- und Feld-Varianten voneinander. Im Vergleich zu den Kornstickstoff-Gehalten der Kontroll-Variante (4,1 %) lagen die Werte der Befalls- und Feld-Varianten (3,6 % Befalls-Variante vs. 3,7 % Feld-Variante) auf einheitlich niedrigem Niveau. Demgegenüber waren die Stickstoff-Gehalte des Strohs aller drei Varianten (0,9 % Kontroll-Variante vs. 0,9 % Befalls-Variante vs. 1,1 % Feld-Variante) vergleichbar hoch.

Tab. 5 Mittlere Trockenmasse- und N-Harvest-Indices der Varianten ($\pm$ SD) in 2004. Ungleiche Buchstaben innerhalb der Spalten weisen auf signifikante Unterschiede hin (ANCOVA, LSD-Test, p = 0,05).

Variante	TM-Index (g)		N-Harvest-Index (g)	
Kontrolle	0,42 $\pm$ 0,02	a	0,67 $\pm$ 0,03	a
Befall	0,40 $\pm$ 0,04	ab	0,65 $\pm$ 0,04	a
Feld	0,36 $\pm$ 0,05	b	0,57 $\pm$ 0,07	b

Tab. 6 Mittlere Trockenmasse- und N-Harvest-Indices der Varianten ($\pm$ SD) in 2005. Ungleiche Buchstaben innerhalb der Spalten weisen auf signifikante Unterschiede hin (ANCOVA, LSD-Test, p = 0,05).

Variante	TM-Index (g)		N-Harvest-Index (g)	
Kontrolle	0,52 $\pm$ 0,02	a	0,83 $\pm$ 0,02	a
Befall	0,48 $\pm$ 0,02	b	0,79 $\pm$ 0,04	b
Feld	0,47 $\pm$ 0,04	b	0,76 $\pm$ 0,04	b

Stickstoff-Versorgung

Die zu Vegetationsbeginn entnommenen Bodenproben der sechs Standorte (0-90 cm) schwankten zwischen 36,2 und 44,8 kg N-min/ha in 2004 und 38,0 und 45,5 kg N-min/ha in 2005, so dass von einer annähernd homogenen Stickstoff-Versorgung innerhalb des untersuchten Areals ausgegangen werden kann. Für die zur Ernte (Residualwert) sowie im Herbst vorhandenen Mengen an pflanzenverfügbarem Stickstoff im

Boden (N-min) wurden höhere Werte in 2004 gegenüber niedrigeren Werten in 2005 gefunden (Abb. 3). Damit verhielten sich die N-min Werte entgegengesetzt zum Ertragsniveau des jeweiligen Jahres (Tab. 3 und 4).

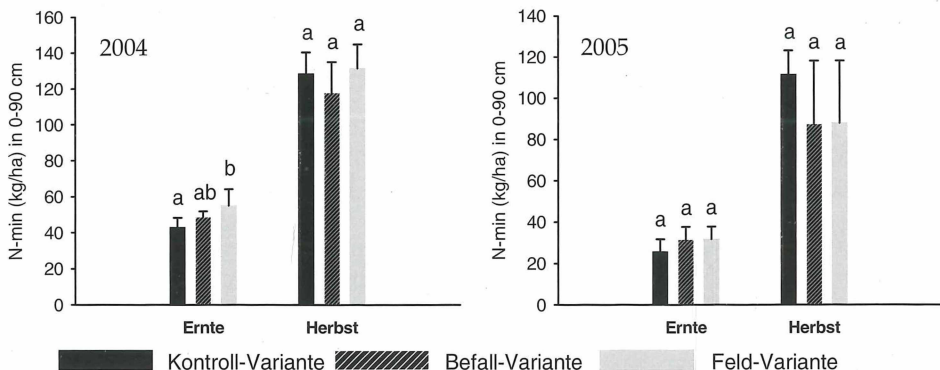


Abb. 3 Ernte- (Residual-) und Herbst-N-min Werte in den Varianten ($\pm$ SD) in den Jahren 2004 und 2005. Ungleiche Buchstaben weisen auf signifikante Unterschiede hin (ANOVA, LSD-Test, $P = 0,05$).

Mit Ausnahme der Residualwerte der Kontroll- gegenüber den Feld-Varianten in 2004 (ANOVA: $SS = 432,0$; $F = 5,49$; $p = 0,005$) bestand kein signifikanter Einfluss des Befalls durch *S. lineatus* auf den im Boden akkumulierten pflanzenverfügbaren Stickstoff (ANOVA 2004 Herbst: $SS = 462,0$; $F = 1,38$; $p = 0,283$; ANOVA 2005 Ernte: $SS = 143,8$; $F = 1,96$; $p = 0,175$; ANOVA 2005 Herbst: $SS = 2267,7$; $F = 1,72$; $p = 0,213$).

Diskussion

Die Maximierung der symbiontischen Stickstoff-Fixierungsleistung, die sowohl einen optimalen N-Ertrag als auch eine positive Stickstoff-Bilanz garantiert, gilt als anspruchsvollste Aufgabe beim Anbau von Körnererbsen im ökologischen Landbau (CORREHELLOU & CROZAT 2005). Um den Status von *S. lineatus* als Schaderreger in *P. sativum* beurteilen zu können, soll daher die Abundanz der Imagines insbesondere hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Parameter des Stickstoff-Haushaltes diskutiert werden.

Imagines und Larven

Im Gegensatz zu den Ergebnissen von DORE & MEYNARD (1995) konnte unter praxisnahen Freilandbedingungen kein Zusammenhang zwischen dem Blattfraß bzw. der Dichte der Imagines und dem durch die Larven verursachten Schaden an den Wurzelknöllchen der Erbsenpflanzen festgestellt werden. Trotz stark differierender maximaler Käferdichte im Vergleich der Jahre, bestand weder in 2002 noch in 2003 eine signifikante Abhängigkeit des larvalen Schadens von den oben genannten Parametern.

Darüber hinaus wurde der von CANTOT (1986) für das 1. Laubblatt bzw. von NIELSEN (1990) für die oberen fünf Blattetagen (2.-6. Laubblatt) angegebene positive Zusammenhang zwischen der Abundanz der Imagines und dem Blattfraß durch unsere Versuche nicht bestätigt. Die untersuchten Parameter zeigten sogar mehrheitlich eine negative Beziehung, d.h. einen bei steigender Käferdichte abnehmenden Fraßschaden. Wir führen

diese unterschiedlichen Ergebnisse auf den abweichenden Versuchsaufbau zurück. Unter den natürlichen Befallsbedingungen eines mehrere Hektar großen Areals haben die unter Halbfreiland-Bedingungen zum Abundanzmaximum der Imagines (CANTOT 1986) bzw. die unter der Voraussetzung einer eingestellten Käferdichte (NIELSEN 1990) ermittelten Regressionen keine Gültigkeit. Die Untersuchungen von NIELSEN (1990) fanden zudem an einer anderen Kulturpflanze (*V. faba*) statt. JAWORSKA (1992, 1998) weist in diesem Zusammenhang auf die Präferenz von *S. lineatus* für *V. faba* und auf die damit einhergehende niedrigere Fraßaktivität der Käfer an *P. sativum* hin, wobei nach LANDON et al. (1995) selbst zwischen verschiedenen Erbsensorten deutliche Präferenzunterschiede bestehen. Ergebnisse zur Eignung der hier angebauten Sorten Madonna und Santana liegen bisher jedoch nicht vor. Auch LANDON et al. (1995) und SCHOTZKO & QUISENBERRY (1999) schlussfolgern, dass aufgrund der temperaturabhängigen Fraßleistung der Käfer bzw. ihres aggregierten Verteilungsmusters der Fraßschaden kein guter Indikator für die Verteilung und Populationsdichte der Imagines ist.

Nach den Freilandstudien von SCHOTZKO & QUISENBERRY (1999) weisen fast 90 % der Standorte eine aggregierte räumliche Verteilung der Imagines auf. Diese Aggregationen von *S. lineatus* bestehen entweder aus größeren Ansammlungen innerhalb eines Bereiches von einem Meter oder setzen sich aus kleineren, gleichmäßig und mit minimalen Abständen verteilten Ansammlungen zusammen und erklären vermutlich auch die in den eigenen Untersuchungen ermittelte Unabhängigkeit der Larvendichte von der Abundanz der Imagines. Bei einer Wahrscheinlichkeit von 26 % in 2002 bzw. 5 % in 2003 konnte in beiden Jahren weniger als 1 % der Varianz der Larvendichte durch die Abundanz der Käfer erklärt werden.

Die Besiedlung der Erbsenflächen durch *S. lineatus* vollzieht sich nach LANDON et al. (1997) in zwei temperaturabhängigen Phasen und ist von synergistischen Effekten durch die Pheromonausschüttung männlicher Käfer begleitet, die Individuen beider Geschlechter anzieht (BLIGHT & WADHAMS 1987). Die weitere Verteilung erfolgt dann ausschließlich durch sog. trivial movements, d.h. zu Fuß (HAMON et al. 1987). In Übereinstimmung mit SMART et al. (1994) erklären SCHOTZKO & QUISENBERRY (1999) die aggregierte Verteilung der Imagines mit der Biologie von *S. lineatus*. Danach bringt die Interaktion der Produktion von Aggregationspheromonen und die hohe Fertilität der Käfer in Erbsen (SCHOTZKO & O'KEEFE 1988) zwei entgegengesetzt gerichtete Verteilungskräfte hervor, die insbesondere die niedrige Reichweite der räumlichen Zuordnung einer Aggregation erklären. Die in der vorliegenden Untersuchung ermittelte Unabhängigkeit des Auftretens der Larven und der Imagines steht jedoch im Widerspruch zu den Ergebnissen von CANTOT (1986). Dieser stellte die Larvendichte zwar nicht in direkte Abhängigkeit zur Abundanz der Imagines, konnte aber eine signifikant positive Korrelation zu ihrem Fraßschaden ermitteln.

Bemerkenswert ist, dass selbst innerhalb der begrenzten Fläche der Bodenprobe von 1/64 m² (12,5 · 12,5 cm) kein statistisch absicherbarer Zusammenhang zwischen der Larvendichte und dem durch sie verursachten Knöllchenfraß an den miterfassten Pflanzen hergestellt werden konnte. Auch unter der Voraussetzung der höheren Käfer- und nachfolgenden Larvendichte in 2003 im Vergleich zu 2002 erklärte die lineare Regression bei einer 93 % Wahrscheinlichkeit nur 25 % der Varianz des larvalen Schadens. Demgegenüber ermittelte CANTOT (1986, 1987, 1989) in mehreren (Halb)-Freilandversuchen einen positiven Zusammenhang zwischen der Larvendichte und der Anzahl zerstörter Wurzelknöllchen in *P. sativum*. Aus den Studien von CANTOT (1989) geht gleichzeitig

hervor, dass die Larvendichte mit zunehmender Eidichte nicht proportional ansteigt und dass es oberhalb einer Dichte von 20 Eiern pro Pflanze weder zu einer erhöhten Larvendichte noch zu einer erhöhten Anzahl zerstörter Knöllchen kommt. In diesen Versuchen lag die prozentuale Beschädigung der Hauptwurzel über 80 %. Auch SMART et al. (1994) beobachteten auf Teilflächen in *V. faba*, die mit dem Aggregationspheromon von *S. lineatus* behandelt wurden, eine höhere Larvendichte, während sich der durch sie verursachte Schaden nicht signifikant von der Kontrolle unterschied. Nach NIELSEN (1990) ist die Larvendichte zum Ende der Larvalentwicklung unabhängig von der Befallsstärke der Imagines, da steigende Individuendichten zwischen 5 und 20 Käfern pro m² nicht in einer signifikant höheren Larvendichte resultieren. Im Gegensatz zu den Studien von CANTOT (1986, 1987, 1989) und den eigenen Untersuchungen veranschaulichen die Larvendichten zu diesem Zeitpunkt jedoch die sog. carrying capacity, d.h. die Anzahl Larven, die in der Lage sind, mit der zur Verfügung stehenden Anzahl Knöllchen zu überleben. NIELSEN (1990) begründet die nicht lineare Beziehung zwischen Käfer- und Larvendichte mit einer bei steigender Individuendichte zunehmenden Larvenmortalität aufgrund der erhöhten Konkurrenz um die vorhandenen Wurzelknöllchen. Intraspezifische Konkurrenz ist bereits von EL-DESSOUKI (1970) sowie EL-DESSOUKI & STEIN (1970) für verschiedene *Sitona* Arten, darunter auch *S. lineatus*, in den jeweiligen Kulturen beschrieben worden.

Unsere eigenen Daten belegen, dass sowohl unter natürlichen als auch künstlichen Befallsbedingungen die Larvendichte mit steigender Käferdichte nicht proportional zunimmt und dass die Anzahl zerstörter Knöllchen trotz der bestehenden Unterschiede in der Larvendichte nahezu identisch ist bzw. nicht signifikant ansteigt. Sicherlich kann mit dem alleinigen Vergleich der Feld- und Befalls-Varianten eines Jahres kein Schwellenwert, d.h. keine Käferdichte angegeben werden, ab dem die intraspezifische Konkurrenz der Larven zu einer Begrenzung des durch sie verursachten Schadens führt. Dennoch bleibt festzuhalten, dass unter den Voraussetzungen in 2004 bzw. 2005 Individuendichten oberhalb von 13 bzw. 20 Käfern/m² keine signifikant höhere larvale Schädigung verursachen. Diese Schwellenwerte stehen zweifellos im Zusammenhang mit der Nodulation der Kultur, die mit der zur Verfügung stehenden Anzahl Knöllchen die Basis für das Einsetzen der intraspezifischen Konkurrenz bildet und somit das Ausmaß des larvalen Schadens reguliert (NOURI-GHANBALANI 1977).

In den Studien von CANTOT (1986, 1987, 1989) führte die Präsenz von 8 bzw. 12 Larven pro Pflanze zu einer 80 bis 90 %igen und damit fast vollständigen Zerstörung der Wurzelknöllchen. In den eigenen Versuchen hingegen bedingten die wesentlich höheren Larvendichten sämtlicher Varianten des vierjährigen Untersuchungszeitraumes eine erheblich geringere relative Schädigung der Wurzelknöllchen. Diese war mit 35 % in 2002 bzw. mit 37 % (Feld-Variante) und 48 % (Befalls-Variante) in 2005 niedriger als in 2003 mit 50 % bzw. in 2004 mit 57 % (Feld-Variante) und 55 % (Befalls-Variante). Dabei entsprach die Anzahl der pro Hauptwurzel ausgebildeten Wurzelknöllchen sowohl in 2002 als auch in 2005 den von CANTOT (1986) angegebenen durchschnittlichen Werten zwischen 35 bis 40 Knöllchen. Demgegenüber wurde in 2003 und 2004 mit etwa 25 Knöllchen eine deutlich geringere Nodulation ermittelt, die auch die nachfolgend höhere prozentuale Beschädigung der Hauptwurzel erklärt. Nach MURRAY & CLEMENTS (1995) zerstören ältere Larvenstadien die Knöllchen von außen und nehmen auch Wurzelmaterial auf, während die jüngeren Larvenstadien Wurzelknöllchen zur Entwicklung benötigen. Den eigenen Studien zufolge sind die Knöllchen der Nebenwurzeln in der Regel

nicht groß genug, um ein Wachstum der Larven bis zum L3 Stadium zu gewährleisten, so dass sich der durch sie verursachte Schaden im Wesentlichen auf die Hauptwurzel bezieht. Da die L1 und L2 Larven mit ihrem beschränkten Aktionsradius die unteren Bereiche der Hauptwurzel jedoch nicht erreichen, kann vermuten werden, dass sie insbesondere der Konkurrenz um geeignete Nahrungsquellen unterliegen (NIELSEN 1990). Dieser Sachverhalt erklärt auch den trotz hoher Larvendichte nachfolgend nicht signifikant höheren Schaden der Befalls-Variante in 2005 im Vergleich zur Feld-Variante. Aufgrund des hohen Anteils junger Larvenstadien in der Befalls-Variante zum Abundanzmaximum kann daher angenommen werden, dass der überwiegende Teil dieser Individuen die Entwicklung an den Erbsen nicht abgeschlossen hat. Neben der intraspezifischen Konkurrenz um die vorhandenen Knöllchen stellt damit die Unerreichbarkeit geeigneter Knöllchen für die später schlüpfenden Individuen den entscheidenden Mortalitätsfaktor für die Larvenpopulation von *S. lineatus* dar (NIELSEN 1990). Auch AESCHLI-MANN (1979) und QUINN & HOWER (1986) begründen die hohe Larvenmortalität verschiedener *Sitona* Arten in *Medicago sativa* L. (Luzerne) mit dem sog. non-establishment, d.h. mit der Nicht-Verfügbarkeit zur Entwicklung geeigneter Wurzelknöllchen.

Erträge und Ertragsindices

Das stark unterschiedliche Ertragsniveau der beiden Untersuchungsjahre 2004 und 2005 bestätigt zunächst die seit langem bekannten hohen Ertragsschwankungen von Körnerleguminosen (DORE 1990). In ihrem Bericht gibt die Landwirtschaftskammer Niedersachsen für ökologische Erbsenbestände Erträge zwischen 31 und 63 dt pro ha an (MEYERCORDT & MÜCKE 2005). Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass in den eigenen Versuchen Parzellen beerntet wurden, lassen sich die Erträge der Kontroll-Variante in 2004 von umgerechnet 44 dt pro ha als unterdurchschnittlich einstufen, während in 2005 mit 60 dt pro ha mittlere Erträge erreicht wurden. Die das Ertragsniveau beeinflussende Stickstoff-Fixierungsleistung von *P. sativum* (OSCHMANN 1984, RIEMER et. al. 2000) steht in direkter Abhängigkeit vom Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden und wird indirekt über das für die Pflanzen nutzbare Bodenwasserangebot bestimmt. Zumindest in trockenen Jahren ist damit die Zufuhr des symbiontisch fixierten Stickstoffs eine Funktion der nutzbaren Feldkapazität im Boden (SCHMIDTKE 1998). Der bereits erwähnte geringe Knöllchenbesatz der Erbsen in 2004 sowie die daraus resultierenden unterdurchschnittlichen Erträge stehen daher im Zusammenhang mit einer relativ geringen nutzbaren Feldkapazität des Standortes von etwa 13 mm (s. Kap. 5) und den im Vergleich zum vieljährigen Mittel trockenen Monaten April und Mai (DWD, Grambek).

Im Vergleich der Erträge bzw. Ertragsparameter sämtlicher Varianten des zweijährigen Untersuchungszeitraumes stehen der in der Feld-Variante in 2004 ermittelte hohe Larvenschaden bzw. die dadurch bedingten niedrigen Ertragsparameter Samen und Hülsen pro Pflanze nicht im Einklang mit der relativ niedrigen Käfer- und Larvendichte dieser Variante. Im Hinblick auf die von SCHOTZKO & QUISENBERRY (1999) dokumentierte aggregierte Verteilung der Imagines kann bei einer sechsfachen Wiederholung nicht vollständig ausgeschlossen werden, dass die tatsächliche Käfer- und Larvendichte der Feld-Variante höher gelegen hat. Daneben könnte die starke Beschädigung der Wurzelknöllchen nach GEORGE (1962) auch auf die Larven von *Micropeza corrigiolata* L. zurückzuführen sein. Einzelne Dipterenlarven wurden in den Pflanzenproben der Feld-Variante zwar gefunden, erklären den beobachteten Schaden aber sicherlich nicht ausreichend. WENKE (1991) und CRÜGER (2002) zufolge, sind neben *S. lineatus* allerdings

keine weiteren phytophagen Insektenarten an den Wurzeln von *P. sativum* beschrieben worden.

Bisher haben nur RAVN & JENSEN (1992) eine durch die Larven von *S. lineatus* verursachte Ertragsminderung an *P. sativum* in Abhängigkeit von der Abundanz der Imagines untersucht. Die Autoren ermittelten in Topfversuchen unter Freilandbedingungen bei Individuendichten von 1 Käfer/Pflanze eine signifikante Reduktion der Trockenmasse um 23 % im Vergleich zur Kontrolle. Sie machten jedoch keine weiteren Angaben zu Erträgen und Ertragsparametern. Die in der Befalls-Variante in 2005 mit 1,2 Individuen/Pflanze (100 Käfer, 85 Pflanzen/m²) eingestellte Käferdichte bedingte eine um 25 % verringerte und somit den Studien von RAVN & JENSEN (1992) entsprechende Reduktion der Trockenmasse gegenüber der Kontrolle (1174 g/m² Kontroll-Variante vs. 881,67 g/m² Befalls-Variante). Im Zusammenhang damit konnte ein um 29 % verminderter Ertrag sowie eine um 26 % und 22 % verminderte Anzahl Samen/Pflanze bzw. Hülsen/Pflanze gemessen werden. Die Untersuchungen von CANTOT (1987, 1989) unter Labor- sowie Halb-Freilandbedingungen belegen eine signifikante Reduktion der Anzahl Samen/Pflanze und Hülsen/Pflanze bei *P. sativum*, während die Anzahl Samen/Hülse sowie das Tausendkorngewicht durch den Befall mit *S. lineatus* unbeeinflusst blieben. In den oben genannten Studien wurden die Ertragsparameter jedoch nicht in Abhängigkeit von der Abundanz der Imagines erfasst.

Die eigenen Ergebnisse bestätigen, dass - unabhängig vom Ertragsniveau - die signifikant niedrigeren Erträge der durch *S. lineatus* befallenen Varianten gegenüber der Kontrolle auf eine Reduktion der Anzahl Samen/Pflanze bzw. Hülsen/Pflanze zurückzuführen sind. Zudem zeigte sich eine von der Käferdichte unabhängige Reduktion dieser Ertragsparameter innerhalb eines weiten Bereiches zwischen 13 und 40 Individuen/m² in Jahren eines unterdurchschnittlichen Ertragsniveaus bzw. zwischen 20 und 100 Individuen/m² unter der Voraussetzung mittlerer bis hoher Erträge. Eine durch *S. lineatus* bedingte Ertragsminderung hinsichtlich der Parameter Samen/Pflanze bzw. Hülsen/Pflanze wurde auch bei *V. faba* gefunden (BARDNER et al. 1983, OSCHMANN 1984, NIELSEN 1990). HODGSON & BLACKMAN (1957) führen die Reduktion der Hülsenzahl auf die gegenüber anderen Organen geringere Wettbewerbsfähigkeit dieses Ertragsparameters zurück.

Neben den oben diskutierten Parametern dienen die TM- und N-Harvest-Indices der genaueren Definition des Ertrages. Nach DAHLMANN (pers. Mitteilung 2007) werden in *P. sativum* gewöhnlich TM-Indices von 0,5 ermittelt, während sich die neueren Genotypen durch hohe N-Harvest-Indices in einem Bereich zwischen 0,7 und 0,8 auszeichnen (SCHMIDTKE 1997b, RAUBER & SCHMIDTKE 1999). In Abhängigkeit von der Sorte werden sowohl der TM-Index (SCHMIDTKE pers. Mitteilung 2004) als auch der N-Harvest-Index der meisten Leguminosen als stabile Koeffizienten mit geringer Schwankungsbreite betrachtet (CORRE-HELLOU & CROZAT 2005). Die in 2004 ermittelten TM- und N-Harvest-Indices der Kontroll-Variante von 0,42 bzw. 0,67 verdeutlichen daher noch einmal das niedrige Ertragsniveau gegenüber durchschnittlichen Indices von 0,52 bzw. 0,83 in 2005.

Vor dem Hintergrund maximaler larvaler Abundanzen zu Blühbeginn (BBCH 61) (DORE & MEYNARD 1995) und steigender Fixierungsraten bis zu Beginn der Fruchtbildung (BBCH 71) (JENSEN 1987, LHUILLIER-SOUNDELE et al. 1999) fällt der durch die Larven verursachte Knöllchenfraß in einen für die Stickstoff-Versorgung der Kultur empfindlichen Zeitraum. Untersuchungen von RAVN & JENSEN (1992) sowie CANTOT (1987, 1989) bestätigen einen signifikant geringeren prozentualen Stickstoff-Gehalt bzw. eine signifi-

kante Reduktion der Stickstoff-Menge im Korn von *P. sativum* bei Befall mit *S. lineatus*. Somit deuten die nahezu identischen prozentualen Stickstoff-Gehalte des Korns der einzelnen Varianten sowie die vergleichbar hohen N-Harvest-Indices der Kontroll- und Befalls-Variante in 2004 darauf hin, dass *S. lineatus* keinen Einfluss auf die Stickstoff-Versorgung der Pflanzen hatte. Dagegen kann der Blattlausbefall mit *Acyrtosiphon pisum* (H.) maßgeblich für die aus den Erträgen resultierenden niedrigen Trockenmasse- und N-Harvest-Indices der Feld-Variante verantwortlich gemacht werden. Sowohl in 2004 als auch in 2005 bedingten hohe Abundanzen der Grünen Erbsenblattlaus (*A. pisum*) das signifikant niedrigere Tausendkorngewicht der Feld-Variante gegenüber den eingekäfigten Varianten. Dabei waren die im Rahmen von Bonituren festgehaltenen maximalen Blattlausdichten von 100-120 Individuen/Pflanze (BBCH 65) in 2004 erheblich höher als in 2005 mit 60-80 Individuen/Pflanze (BBCH 69). Im Gegensatz zum Vorjahr zeigten in 2005 die einheitlich gegenüber der Kontrolle reduzierten prozentualen Stickstoff-Gehalte des Korns der Befalls- und Feld-Variante sowie die niedrigeren TM- und N-Harvest-Indices dieser befallenen Varianten die negativen Auswirkungen von *S. lineatus* auf die Stickstoff-Versorgung von *P. sativum*. Die vergleichbar hohen Indices der Befalls- und Feld-Variante bestätigen somit die von der Käferdichte unabhängige Reaktion der Erträge und Ertragsparameter.

Stickstoff-Versorgung

In ökologisch wirtschaftenden Betrieben ist die Menge des zugeführten Stickstoffs vorrangig ein Ergebnis der symbiontischen Stickstoff-Fixierungsleistung der Leguminosen (SCHMIDTKE 1998). Somit kann von den gegenüber den Befalls- und Feld-Varianten höheren N-min Werten der Kontroll-Varianten im Herbst auch auf eine höhere Stickstoff-Fixierungsleistung dieser Pflanzen geschlossen werden. In diesem Zusammenhang können die hohen N-min Werte der Feld-Variante in 2004 allerdings nur mit höheren Gehalten an bodenbürtigem Stickstoff erklärt werden, der neben der symbiontischen Fixierungsleistung der Leguminosen in eine aktuelle Aufnahme der N-min Menge eingeht (SCHMIDT & TIMMERMANN 1988). Obwohl auch im Herbst keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten auftraten, stehen die N-min Werte doch im Einklang mit den N-Harvest-Indices des jeweiligen Jahres. In 2004 lassen die einheitlich hohen N-min Werte der Kontroll- und Befalls-Varianten vermuten, dass *S. lineatus* keinen Einfluss auf die im Boden vorhandenen Mengen an pflanzenverfügbarem Stickstoff genommen hat. Demgegenüber weisen in 2005 die einheitlich niedrigen N-min Werte der Befalls- und Feld-Varianten auf eine erhebliche Beeinträchtigung der Stickstoff-Fixierungsleistung der Erbsen durch *S. lineatus* hin. Dabei waren die negativen Effekte unabhängig von der Abundanz der Imagines, indem die der nachfolgenden Kultur über die Mineralisierung zur Verfügung stehenden N-Mengen in beiden Varianten um etwa 20 % begrenzt wurden. Die aus der Kontrolle mineralisierten N-min Mengen entsprachen hingegen mit 111,6 kg/ha den von RIEMER et al. (2000) unter konventionellen Anbaubedingungen angegebenen Werten.

Eine durch den Befall mit *S. lineatus* verringerte Stickstoff-Fixierungsleistung von *P. sativum* wird von mehreren Autoren gefunden. Während CORRE-HELLOU & CROZAT (2005) einen deutlichen Rückgang des Anteils des symbiontisch gebundenen Luftstickstoffs feststellten (% Ndfa), ermittelten RAVN & JENSEN (1992) eine signifikante Verringerung der in Spross und Wurzel befindlichen N-Menge aus der Symbiose (g N). In beiden Versuchen sanken die Parameter bezüglich der Stickstoff-Fixierungsleistung durch den

Befall mit *S. lineatus* um über 30 %. CORRE-HELLOU & CROZAT (2005) machen keine Angaben zur Dichte der Imagines, sondern verwenden den Blattfraß als Indikator für den larvalen Schaden. Die von RAVN & JENSEN (1992) eingestellten Dichten von 1 Käfer/Pflanze entsprechen der Dichte der Befalls-Variante in 2005. Ein möglichst hoher Anteil Stickstoff aus symbiontischer Fixierung (% Ndfa) wird allgemein als entscheidender Faktor für ein positives N-Flächenbilanzsaldo der Erbsen angesehen (KUMAR & GOH 2000, CORRE-HELLOU & CROZAT 2005) und ist nicht zuletzt notwendig, um den Stickstoff-Entzug der neuen Erbsensorten mit hohen N-Harvest-Indices auszugleichen (SCHMIDTKE 1997a, ARMSTRONG et al. 1997).

Für alle hier untersuchten Parameter und insbesondere für den Zusammenhang zwischen dem larvalen Schaden und der Abundanz der Imagines gilt das Problem der nicht linearen Beziehungen. Die vorliegenden Untersuchungen können die Ergebnisse bisheriger Studien unter den Voraussetzungen praxisnaher Freilandbedingungen nicht bestätigen. Die komplexen Beziehungen zwischen der Befallsstärke der Imagines und der Ertragsreduktion haben zur Folge, dass bisher weder im konventionellen noch im ökologischen Landbau eine wirtschaftliche Schadensschwelle für *S. lineatus* in *P. sativum* vorliegt. Unsere Ergebnisse belegen jedoch, dass in Abhängigkeit von der Nodulation der Kultur das Überschreiten einer bestimmten Käferdichte nicht zu einer signifikant höheren larvalen Schädigung und damit auch nicht zu höheren Ertragsverlusten führt. Ein niedriges Ertragsniveau vorausgesetzt, liegt dieser Schwellenwert bei 13 Individuen/m², während unter der Annahme mittlerer Erträge ein Wert von mehr als 20 Individuen/m² keine weitere Ertragsreduktion bedingt. Zudem wurden oberhalb der oben genannten Populationsdichten die in direktem Zusammenhang mit der Stickstoff-Fixierungsleistung von *P. sativum* stehenden N-Harvest-Indices sowie die indirekt damit verbundenen Gehalte an pflanzenverfügbarem Bodenstickstoff im Herbst nicht weiter beeinträchtigt.

Abschließend sei erwähnt, dass die innerhalb des Untersuchungszeitraumes von zwei Individuen/m² in 2002 auf etwa 20 Individuen/m² in 2005 stetig steigenden Abundanzen in der Tendenz die von mehreren Autoren formulierte Hypothese der besonderen Gefährdung ökologischer Fruchtfolgesysteme durch *S. lineatus* bestätigen.

Literatur

- AESCHLIMANN J.-P. (1979): Sampling methods and construction of life tables for *Sitona humeralis* populations (Col., Curculionidae) in Mediterranean climatic areas. *Journal of Applied Ecology* 16, 405-415.
- ARMSTRONG E.L., HEENAN D.P., PATE J.S. & UNKOVICH M.J. (1997): Nitrogen benefits of lupins, field pea, and chickpea to wheat production in south-eastern Australia. *Australian Journal of Agricultural Research* 48, 39-47.
- BARDNER R., FLETCHER K.E. & GRIFFITHS D.C. (1983): Chemical control of the pea and bean weevil, *Sitona lineatus* L., and subsequent effects on the yield of field beans *Vicia faba* L.. *Journal of agricultural Science, Cambridge* 101, 71-80.
- BLIGHT M.M. & WADHAMS L.J. (1987): Male produced aggregation pheromone in pea and bean weevil *Sitona lineatus* (L.). *Journal of Chemical Ecology* 13, 733-739.
- CANTOT P. (1986): Quantification des populations de *Sitona lineatus* L. et de leurs attaques sur pois protéagineux (*Pisum sativum* L.). *Agronomie* 6, 481-486.

- CANTOT P. (1987): Influence de *Sitona lineatus* L. sur la nodulation et les facteurs de rendement du pois protéagineux. Nutrition azotée des légumineuses, Versailles, 19-21 novembre 1985, ed. INRA, Paris.
- CANTOT P. (1989): Action larvaire de *Sitona lineatus* L. sur quelques facteurs de production du pois protéagineux (*Pisum sativum* L.). Agronomie 9, 765-770.
- CANTOT P. (2001): Influence de quelques Papilionacées sur la ponte et le développement larvaire de *Sitona lineatus* (L.) (Coleoptera, Curculionidae). Bulletin de la Société entomologique de France 106, 441-447.
- CORRE-HELLOU G. & CROZAT Y. (2005): N₂ fixation and N supply in organic pea (*Pisum sativum* L.) cropping systems as affected by weeds and pea weevil (*Sitona lineatus* L.). European Journal of Agronomy 22, 449-458.
- CRÜGER G. (2002): Pflanzenschutz im Gemüsebau. E. Ulmer Verlag, Stuttgart.
- DORE T. (1990): Diagnostic sur les facteurs limitants du rendement du pois dans une petite région. Perspectives Agricoles 149, 66-71.
- DORE T. & BOUTHIER A. (1991): Dégâts de sitones sur pois de printemps: mesure de leur importance en parcelles d'agriculteurs et en essais. Perspectives Agricoles 160, 82-88.
- DORE T. & MEYNARD J.M. (1995): On-farm analysis of attacks by the pea weevil (*Sitona lineatus* L.; Col., Curculionidae) and the resulting damage to pea (*Pisum sativum* L.) crops. Journal of Applied Entomology 119, 49-54.
- DIECKMANN L. (1980): Beiträge zur Insektenfauna der DDR: Coleoptera - Curculionidae (Brachycerinae, Otiorhynchinae, Brachyderinae). Beiträge zur Entomologie 30, 145-310.
- DUMAS J.B. (1981): Sur les procédés de l'analyse organique. Annales de Chimie XLVII, 195-213.
- EL-DESSOUKI S.A. (1970): Der Einfluss von Larven der Gattung *Sitona* (Col., Curculionidae) auf einige Leguminosen. Dissertation, Universität Giessen.
- EL-DESSOUKI S. A. & STEIN W. (1970): Intraspecific competition between larvae of *Sitona* spp. (Col., Curculionidae). Oecologia 6, 106-108.
- FIBL-BERICHT (2006): Praxisbericht zur Anbaubegleitung der Körnerleguminosen des Forschungsinstituts für Biologischen Landbau, Schweiz, 1-5.
- GEORGE K.S. (1962): Root nodule damage by larvae of *Sitona lineatus* L. and its effect on yield of green peas. Plant Pathology 11, 172-176.
- HAMON N., BARDNER R., ALLEN-WILLIAMS L. & LEE J.B. (1987): Flight periodicity and infestation size of *Sitona lineatus*. Annals of applied Biology 111, 271-284.
- HANS H. (1959): Beiträge zur Biologie von *Sitona lineatus* L.. Zeitschrift für angewandte Entomologie 44, 343-386.
- HODGSON G.L. & BLACKMAN G.E. (1957): An analysis of the influence of plant density on the growth of *Vicia faba*. II. The significance of competition for light in relation to plant development at different densities. Journal of Experimental Botany 8, 195-219.
- HUNTER M.D. (2001): Out of sight, out of mind: the impacts of root-feeding insects in natural and managed systems. Agricultural and Forest Entomology 3, 3-9.
- JACKSON D.J. (1920): Bionomics of weevils of the genus *Sitones* injurious to leguminous crops in Britain. Annals of applied Biology 7, 269-298.
- JAWORSKA M. (1998): The laboratory preference of annual legumes by the pea weevil *Sitona lineatus* L. (Col., Curculionidae) and their effect on susceptibility of weevils to entomogenous nematodes. Journal of Invertebrate Pathology 71, 248-250.

- JAWORSKA M. (1992): Über den Befall einjähriger Leguminosen durch den Erbsenrüssler, *Sitona lineatus* L. (Col., Curculionidae). Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz 65, 70-72.
- JENSEN E.S. (1987): Seasonal patterns of growth and nitrogen fixation in field-grown pea. Plant and Soil 101, 29-37.
- KIENEGGER M., KROMP B., LETHMAYER C. & HARTL W. (2005): Immer mehr Schäden durch Blattrandkäfer. Bio Ernte Austria 02/2005, 42-43.
- KUMAR K. & GOH K.M. (2000): Biological nitrogen fixation, accumulation of soil nitrogen and nitrogen balance for white clover (*Trifolium repens* L.) and field pea (*Pisum sativum* L.) grown for seed. Field crops Research 68, 49-59.
- LANDON F., LEVIEUX J., HUGNARD J., ROUGON D. & TAUPIN P. (1995): Feeding activity of *Sitona lineatus* L. (Col., Curculionidae) on *Pisum sativum* L. (Leguminosae) during its imaginal life. Journal of Applied Entomology 119, 515-522.
- LANDON F., LEVIEUX J., ROUGON, D. & TAUPIN P. (1997): Influence of the immediate environment on the dispersal of *Sitona lineatus* L. (Col., Curc.) during crop colonisation. Agriculture, Ecosystems & Environment 64, 261-266.
- LERIN J. (2004): Modeling embryonic development in *Sitona lineatus* (Coleoptera: Curculionidae) in fluctuating temperatures. Environmental Entomology 33, 107-112.
- LERIN J., CANTOT P. & KOUBAIT K. (1993): Biologie comparée de deux charançons prédateurs de racines: *Sitona lineatus* L. sur pois et *Baris coerulescens* Scop. sur colza. 3^e conférence internationale sur les ravageurs en agriculture, Montpellier, 7-8 décembre 1993, ed. ANPP 3, 1149-1156.
- LHUILIER-SOUNDELE A., MUNIER-JOLAIN, N.G. & NEY, B. (1999): Dependence of seed nitrogen concentration on plant nitrogen availability during the seed filling in pea. European Journal of Agronomy 11, 157-166.
- MARKKULA M. (1959): The biology and especially the oviposition of the *Sitona* Germ. (Col., Curculionidae) species occurring as pests of grassland legumes in Finland. Publications of the Finnish State Agricultural Research Board 178, 41-74.
- MEYERCORDT M. & MÜCKE M. (2005): Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Fachbereich Ökologischer Landbau. Ergebnisse Körnerleguminosen (2003-2005).
- MÖLLER K., FINCKH M.R. & SAUCKE H. (2006): Schadorganismen im Ackerbau. Leguminosen (Leguminosae). In: KÜHNE S., BURTH U. & MARX P. (eds.) Biologischer Pflanzenschutz im Freiland. Pflanzengesundheit im Ökologischen Landbau, E. Ulmer Verlag, Stuttgart, 87-88.
- MURRAY P.J. & CLEMENTS R.O. (1995): Distribution and abundance of three species of *Sitona* (Coleoptera: Curculionidae) in grassland in England. Annals of applied Biology 127, 229-237.
- NIELSEN B.S. (1990): Yield responses of *Vicia faba* in relation to infestation levels of *Sitona lineatus* L. (Col., Curculionidae). Journal of Applied Entomology 110, 398-407.
- NOURI-GHANBALANI G. (1977): Host plant resistance to the pea leaf weevil, *Sitona lineatus* (L.), in pea (*Pisum sativum* L.) and its inheritance. Dissertation, University of Idaho.
- OSCHMANN M. (1984): Untersuchungen zur Ertragsbeeinflussung der Ackerbohne (*Vicia faba* L.) durch den Linierten Blattrandkäfer (*Sitona lineatus* L.; Coleoptera, Curculionidae). Archiv für Phytopathologie und Pflanzenschutz 20, 371-381.
- QUINN M.A. & HOWER A.A. (1986): Effects of root nodules and taproots on survival and abundance of *Sitona hispidulus* (Coleoptera: Curculionidae) on *Medicago sativa*. Ecological Entomology 11, 391-400.

- RAUBER R. & SCHMIDTKE K. (1999): Nutzung der symbiontischen Stickstoff-Fixierungsleistung bei Leguminosen. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 12, 1-6.
- RAVN H.P. & JENSEN E.S. (1992): Effect of pea and bean weevil (*Sitona lineatus* L.) on N₂-fixation and yield in peas. 1^{re} conférence européenne sur les protéagineux, 1992 Angers, 347-348.
- RIEMER H.M., STELLING D. & LINK W. (2000): Genotypische Unterschiede in der N-Effizienz bei Körnerleguminosen. In: MÖLLERS C. E. (ed.) Stickstoffeffizienz landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Initiativen zum Umweltschutz 21, Schmidt Verlag, Berlin, 70-84
- SCHERF H. (1964): Die Entwicklungsstadien der mitteleuropäischen Curculioniden (Morphologie, Bionomie, Ökologie). Abhandlungen der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft 506, 1-334.
- SCHMIDT C. & TIMMERMANN F. (1988): Bestimmung löslicher N-Fractionen des Bodens in Abhängigkeit von Probenvorbereitung und Extraktionsverfahren. Vdlufa-Schriftenreihe 28, 517-526.
- SCHMIDTKE K. (1997a): Stickstoff-Fixierungsleistung und N-Flächenbilanz beim Anbau von Erbsen (*Pisum sativum* L.) unterschiedlichen Wuchstyps in Reinsaat und Gemengesaat mit Hafer (*Avena sativa* L.). Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 10, 63-64.
- SCHMIDTKE K. (1997b): Schätzverfahren zur Ermittlung der N-Flächenbilanz bei Leguminosen. Vdlufa-Schriftenreihe 46, 659-663.
- SCHMIDTKE K. (1998): Selbstregelung der Stickstoffzufuhr im ökologischen Landbau. Ökologie & Landbau 26, 33-37.
- SCHNELL W. (1955): Synökologische Untersuchungen über Rüsselkäfer der Leguminosenkulturen. Zeitschrift für angewandte Entomologie 37, 193-238.
- SCHOTZKO D.J. (1981): The reproductive maturation, fertility and ovipositional rhythms of *Sitona lineatus* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) in northern Idaho. Master thesis, University of Idaho, Moscow.
- SCHOTZKO D.J. & O'KEEFFE L.E. (1988): Effects of food plants and duration of hibernall quiescence on reproductive capacity of pea leaf weevil (Coleoptera: Curculionidae). Journal of Economic Entomology 81, 490-496.
- SCHOTZKO D.J. & QUISENBERRY S.S. (1999): Pea leaf weevil (Coleoptera: Curculionidae). Spatial distribution in peas. Environmental Entomology 28, 477-484.
- SMART L.E., BLIGHT M.M., PICKETT J.A. & PYE B.J. (1994): Development of field strategies incorporating semiochemicals for the control of the pea and bean weevil, *Sitona lineatus* L. Crop Protection 13, 127-135.
- SPSS INC. (2000): Systat 10 for Windows. SPSS Inc., Chicago.
- TAUPIN P. & COLLIN F. (1998): Insectes. Des erreurs qui peuvent coûter cher!. Perspectives Agricoles 231, 44-50.
- VDLUFA (1991): Vdlufa Methodenhandbuch Band 1. Die Untersuchung von Böden. Vdlufa-Verlag, Darmstadt.
- WENKE K.U. (1991): Der Phytophagenkomplex an Ackerbohnen *Vicia faba* L. und Körnererbsen *Pisum sativum* L. unter besonderer Berücksichtigung der Larvalstadien des Gestreiften Blattrandkäfers *Sitona lineatus* L.; (Coleoptera, Curculionidae). Diplomarbeit, Universität Oldenburg.

WILLIAMS L., SCHOTZKO D.J. & O'KEEFFE L.E. (1995): Pea leaf weevil herbivory on pea seedlings: effects on growth response and yield. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 76, 255-269.

Adressen der Autoren

Katharina Lohaus und Prof. Dr. Stefan Vidal
Department für Nutzpflanzenwissenschaften
Abteilung Agrarentomologie
Georg-August-Universität Göttingen
Email: kalohaus@agr.uni-goettingen.de
Email: svidal@agr.uni-goettingen.de

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Faunistisch-Ökologische Mitteilungen](#)

Jahr/Year: 2008

Band/Volume: [Supp_35](#)

Autor(en)/Author(s): Lohaus Katharina, Vidal Stefan

Artikel/Article: [8 Wurzelfraß durch die Larven von Sitona lineatus L. \(Col., Curculionidae\) in Pisum sativum L. \(Körnererbsen\): Besteht ein Zusammenhang zwischen dem Ertragsverlust und der Abundanz der Imagines? 183-202](#)