

NEUES von der Göttinger Winter-Ackerbohne

W. LINK und M. ARBAOUI

In Deutschland ist die Ackerbohne nach Lupine (38.000 ha) und Sonnenblume (27.000 ha) eine der „kleinen“ Feldfrüchte, sie wurde im Jahr 2005 auf 16.000 ha angebaut. Das ist nur wenig mehr als Lein (13.000 ha) und Futterrübe (10.000 ha), Erbsen wurden in Deutschland siebenmal soviel angebaut (111.000 ha).

Auch in Polen (12.000 ha) und Österreich (4.000 ha) war die Ackerbohnen-Fläche sehr klein. In Frankreich wurden 2005 allerdings 105.000 ha Ackerbohnen angebaut, das ist immerhin ein Drittel der dortigen Erbsenfläche. In Großbritannien betrug die Anbaufläche 188.000 ha, das ist das Doppelte aus der Summe aus Erbse und Lupine (DUBOIS, 2005). Bei vollständigem Saatgutwechsel würden diese Ackerbohnen-Anbauflächen zu einem theoretischen Lizenzvolumen zur Refinanzierung der Sortenzüchtung von etwa drei Millionen Euro jährlich führen.

Zwar wurden z.B. auch in Spanien 53.000 ha Ackerbohnen angebaut, aber diese sind die mediterranen Typen, sie werden im späten Herbst gesät und schon im Frühsommer geerntet; sie unterscheiden sich in Adaptation und Ideotyp stark von den Sorten nördlich der Alpen. Es gibt allerdings auch bei uns Sorten, die im Herbst gesät werden: Winter-Ackerbohnen. Winter-Ackerbohnen können im Unterschied zu mediterranen Ackerbohnen den Winter nördlich von Pyrenäen und Alpen überstehen; ihr Anbau ist aber auf wintermilde Teile im Nordwesten Frankreichs und auf Großbritannien begrenzt (STODDARD et al., 2006). In Großbritannien sind - mit großen Schwankungen - etwa die Hälfte der angebauten Ackerbohnen Wintertypen.

Sie sind erwartungsgemäß den Sommerbohnen im Kornertrag überlegen (Tabelle 1). In Deutschland, Österreich, Polen und weiteren kontinental geprägten Regionen werden Winterbohnen nicht angebaut, da ihre begrenzte Winterhärte hier keinen ertragssicheren Anbau zulässt.

Tabelle 1: Korn-Erträge (t ha⁻¹) im Jahr 2004 in England bei Winter- und Sommer-Ackerbohnen

Sorte (Winter-Ackerbohne)	Orte		
	Bramham	Poringland	Thornough
Target	5,05	3,91	3,72
Clipper	4,72	3,83	3,52
Wizard	4,39	4,11	4,25
	Mittelwert: 4,17		
Sorte (Sommer-Ackerbohne)			
Victor	1,88	2,85	2,67
Méli	2,43	3,20	3,76
Compass	2,38	2,65	3,27
Syncro	2,38	2,94	3,53
	Mittelwert: 2,83		

Quelle: <http://www.niab.com/>

Alle Ackerbohnen, auch mediterrane Ackerbohnen und unsere Sommer-Ackerbohnen sind frosthart (auch die Ackerbohnen in Nordafrika, Asien, und im nördlichen Südamerika). Sie überleben als Jungpflanze Temperaturen bis etwa minus 6°C. Eine Temperatur von etwa 8°C tags und 2°C nachts mit Kurztage führt bei der Ackerbohne zur Härtung, also zur Anpassung an künftige Fröste. Die Härtungsreaktion ist besonders bei unseren Winterbohnen deutlich, gehärtete Winterbohnen überstehen wenigstens minus 12°C, fallweise auch bis zu minus 16°C Frost (HERZOG, 1989).

Sowohl bei der Härtung als auch im Veronalisations-Anspruch unterscheiden sich Sommer-Ackerbohnen von Winter-Ackerbohnen graduell, weniger deutlich als man diese Unterschiede von Winter- und Sommergetreide kennt (EVANS, 1959; HERZOG, 1989; ELLIS et al., 1988; SOJA und STEINECK, 1986).

Die Göttinger Winter-Ackerbohnen-Population

Pflanzenbauliche Versuche in Göttingen von 1978 bis 1983 mit der deutschen Winterbohnen-Sorte Webo (HAUSER und BÖHM, 1984) zeigten, dass die Überwinterung nicht sicher genug für eine Anbauempfehlung war, eine Bestä-

tigung älterer Resultate (von KITTLITZ, 1974), GEHRIGER und VULLIQUOD (1982) dagegen kamen für das Schweizer Mittelland zur Ansicht, die Kälteresistenz von Sorten wie Webo sei ausreichend. Ab Herbstsaat 1988 wurde in Göttingen züchterisch mit Winterbohnen gearbeitet (D. STELLING, unveröffentlichte Zuchtbücher). Diese Arbeit stützte und stützt sich auf langjährige Erkenntnisse und züchterische Arbeiten von LITTMANN (1979), HERZOG (1987), BERTHELEM (1970) und BOND (1986). Eine spannende Historie der europäischen Winter-Ackerbohne ist bei BOND und CROFTON (1999) nachzulesen.

Zunächst wurden in Göttingen in Freiland-Isolierhäusern 11 Inzuchtlinien erzeugt (1989-1993), aus den drei deutschen Winterbohnen-Sorten Webo, Wibo und Hiverna (Züchter H. LITTMANN, Timmdorf), aus den drei Stämmen 79/79, 977/88/S1/8 und 979/S1/1 (Material aus der Arbeit von HERZOG, Kiel), aus den drei UK-Wintersorten Banner, Bourdon und Bulldog, und aus den beiden französischen Wintersorten Côte d'Or und Avrisott. Côte d'Or ist eine französische Landsorte mit bekanntermaßen sehr hoher Frostresistenz aus der Region Côte d'Or in Burgund (DUC and PETITJEAN, 1995; OLSZEWSKI

Autoren: Univ.Prof. Dr. Wolfgang LINK und Dr. Mustapha ARBAOUI, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Universität Göttingen, D-37073 GÖTTINGEN, wlink@gwdg.de



und HERZOG, 1994; cf. BOND and CROFTON, 1999). Ab 1992 wurde durch Freiland-Anbau dieses Materials eine Durchkreuzung dieser Linien zugelassen; man kann bei der Winter-Ackerbohne mit 40-60% Fremdbefruchtung auf Basis der Einzelpflanze rechnen (GASIM et al., 2003). Es entstand so aus diesen 11 Komponenten eine Population. Durch räumliche Nähe anderer Bohnen in der Saison 1992 ist eine geringe Kontamination mit dem Pollen mediterraner Typen (z.B. ILB938, Giza/4) und europäischer Sommerbohnen (z.B. Alfred, Viktor) anzunehmen. Seit 1992 wird diese Population jährlich am Standort Göttingen (150 m über NN) und zusätzlich seit der Saison 2001 auf der Versuchsstation Deppoldshausen angebaut (sehr karger, winterkalter Standort nördlich von Göttingen, 330 m über NN). Typischerweise wird die Population mit maximal 1000 Samen pro Standort - durch räumliche Distanz isoliert - gesät, sie ist der natürlichen Auslese ausgesetzt und wird mit gleicher Samenzahl pro Individuum geerntet. Eine sehr starke natürliche Selektion auf Überwinterungsfähigkeit (< 30% Überlebensrate) fand in den Wintern 1993/1994 und 2002/2003 statt. Aus der Version dieser Population in der Saison 1999 wurden per SSD Inzuchtlinien gezogen. Zur Zeit stehen daraus über 300 F7-Linien zur Verfügung.

Ebenfalls seit 1999 wird parallel zur natürlichen Selektion in Göttingen züchterisch mit dem Material gearbeitet; es

besteht eine Kooperation mit der Versuchsstation Oberer Lindenhof der LSA Stuttgart-Hohenheim (Schwäbische Alb, 730 m über NN; C.C. SCHÖN, S. PÖSCHEL) und der Fa. NPZ Lembke KG (O. SASS). Die Selektion wurde je nach Variation im betreffenden Merkmal auf hohe Standfestigkeit, gute Überwinterung und hohen Kornertrag durchgeführt. Der Umfang der Arbeit lässt sich aus *Tabelle 2* erkennen. Bis 2005 wurde zwischen offen abgeblühten, also heterogenen Prüfgliedern selektiert. Ab 2006 werden Inzuchtlinien als Einheiten der Auslese benutzt. Inzwischen stehen zwei Stämme aus dieser Arbeit in Zusammenarbeit mit der NPZ Lembke KG in Großbritannien in Wertprüfung.

Seit Herbst 2002 bis Ende 2006 wird im Rahmen einer Promotionsarbeit (M. ARBAOUI) mit dem Göttinger Winterbohnen-Material im EUFABA-Projekt (<http://www.ias.csic.es/eufaba/>) gearbeitet (s. *Tabelle 2*). Das Ziel dieses EU-Projektes ist eine züchterische Bestandsaufnahme der europäischen Ackerbohne und eine Vorlaufzüchtung auf resistente Typen (biotischer, abiotischer Stress), die in eine moderne, nachhaltige Landwirtschaft passen. Als Merkmale werden antinutritive Inhaltsstoffe und Resistenzen gegen Pilze, *Orobanche*, Frost und Trockenheit bearbeitet, sowohl mit Feldversuchen bei Züchtern und Instituten als auch durch Erarbeitung von Molekularen Markern und QTL (*Abbildung 1*). In Göttingen werden mit Winter-Ackerbohnen europaweite Feldversuche koordiniert

und detaillierte Experimente im Feld, in der Klimakammer und im Fettsäurelabor (s.u.) durchgeführt.

Seit Herbst 2003 bis Ende 2006 wird gemeinsam mit dem Naturlandverband (www.naturland.de) und ökologisch wirtschaftenden Bauern im Rahmen einer Promotionsarbeit (L. GHAOUTI) an einem Projekt zur Partizipatorischen Pflanzenzüchtung gearbeitet, in dem ein Schwerpunkt auf der Winter-Ackerbohne liegt (www.orgprints.org/6134).

Mehrortiger, mehrjähriger Feldversuch

In dieser Versuchsreihe wurden Sorten und Linien als Prüfglieder benutzt (*Tabelle 3*), zunächst zwölf Sorten bzw. Linien aus Sorten, die gegenwärtig (Silver, Karl, Target, Diva, Irena) oder früher (Bulldog, Striker, Punch, Clipper,) angebaut wurden. Außerdem Webo und Hiverna, die nie eine nennenswerte Anbaufläche hatten und die Göttinger Winterbohnen-Population. Dazu kommen sieben Linien aus der Kreuzung Côte d'Or x BPL4628/1521. Die Inzuchtlinie BPL4628/1521 stammt von der ICAR-DA (Aleppo) und hat ihren Ursprung in China. Sie wurde von DUC und PETIT-JEAN (1995) als Geniteur für Frosthärte und Winterfestigkeit identifiziert. Aus dieser Kreuzung stehen in Göttingen insgesamt N=101 Linien zur Verfügung. Die weiteren fünf spekulativen Linien stammen aus der Kreuzung zwischen der modernen Sommerbohne Scirocco und der Winterbohne Côte d'Or/1. Als Kon-

Tabelle 2: Umfang der Göttinger Winterbohnen-Züchtung (ohne EUFABA, s.u.)

Saison	Anzahl Prüfglieder	Parzellen-Größe (m ²)	Anzahl Wiederholungen	Bemerkungen
1998/1999	176	2	1	Göttingen
	157	1	1	Göttingen
	135	6	2	Göttingen
1999/2000	21	6	2	Göttingen
	16	6	1	3 Orte: Gött., H'lieth, O.Lindenhof
2000/2001	304	3	1	3 Orte: Gött., H'lieth, O.Lindenhof
2001/2002	100	6	2	3 Orte: Gött., Gleisd., O.Lindenhof, in Gö. kein Ertrag wegen Totallagers
2002/2003	48	6	4	2 Orte: Gött., Deppoldshausen hohe Auswinterung
	70	1	2	O. Lindenhof; hohe Auswinterung
2003/2004	56	6	3	Göttingen
	54	1	1	O. Lindenhof
2004/2005	20	12	3	Göttingen
	54	1	1	O. Lindenhof
2005/2006	144	5	2	Göttingen
	144	2	2	Göttingen
	100	1	1	O. Lindenhof

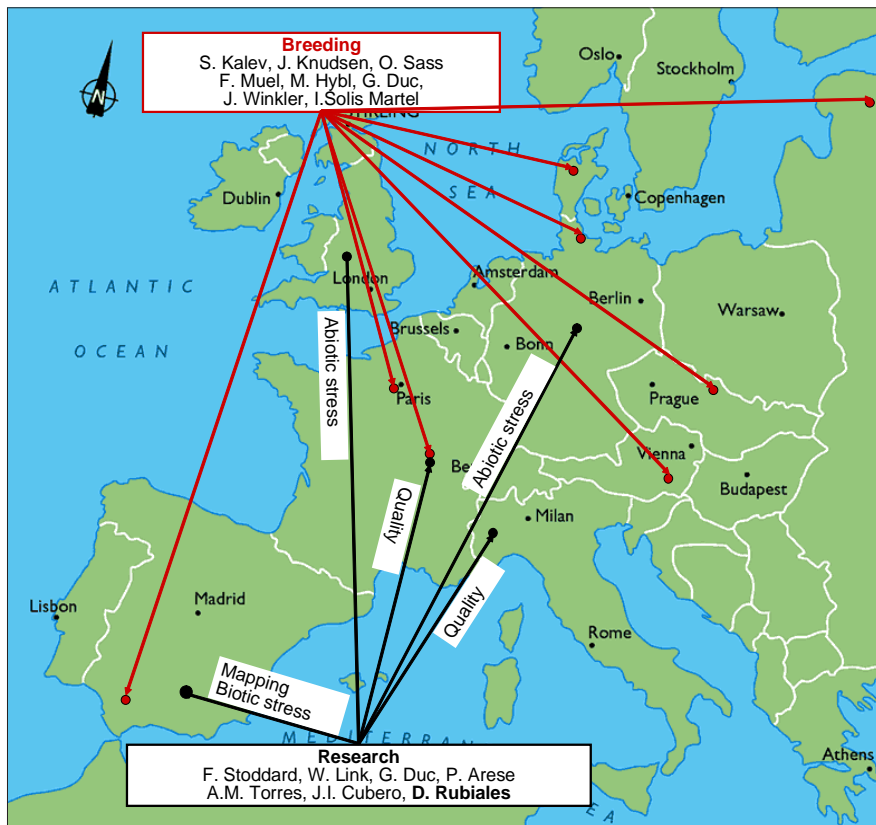


Abbildung 1: Züchtungs- und Forschungsarbeiten in Europa im Projekt EUFABA

trolle wurden drei Sommerbohnen und vier Winterbohnen eingesetzt.

Diese Prüfglieder wurden in der Saison 2003 an drei Standorten (Gleisdorf, Hohenlieth, Göttingen) angebaut, mit 50 Korn pro Parzelle und überwiegend (je nach Saatgutverfügbarkeit) in zwei Wiederholungen. Für die Saison 2004 kamen als vierter und fünfter Ort Šumperk in

Tschechien und Jögeva in Estland dazu, zwei sehr winterkalte Standorte. Die Parzellengröße wurde verdoppelt (4,5 m²), außer in Šumperk und Jögeva, wo es bei kleinen Beobachtungspartellen blieb.

Dieses Vorgehen wurde auch in der Saison 2005 wiederholt. Für die Saison 2006 wurde dieser Versuch ein letztes Mal und nur in Göttingen ausgesät. Die Überwin-

terungsfähigkeit wurde früh, sobald als möglich nach Winter und spät, noch vor Blühbeginn, als Bonitur erfasst. Die Tabelle 4 zeigt unter anderem, dass insbesondere der sehr kalte Winter 2002/2003 in Göttingen und der Winter 2003/2004 in Estland zum Totalausfall des jeweiligen Versuches führten.

Klimakammer-Versuch

Um die Frostresistenz im engeren Sinne zu evaluieren, wurden mit denselben Genotypen Experimente in einer Pflanzenwachskammer („Frostkammer“) durchgeführt. Die Kammer (Vötsch VB 4018 extra) erreicht Temperaturen bis minus 22°C. Sie bietet vier m² Versuchsfläche und wird in Göttingen mit 88 Töpfen zu 18 x 18 cm² genutzt (entspricht einer sogenannten „Beladung“ der Kammer). Die Töpfe enthalten fünf kg Sand-Komposterde in 1:1-Mischung und werden bei 80% Wasserkapazität gehalten. Licht steht mit 200 µmol/(s·m²) über 12h pro „Tag“ zur Verfügung. Die Luftfeuchte fluktuiert frei (etwa bei 80%) entsprechend der Temperatur. Die Härtung der Pflanzen wurde während Keimung und Auflaufen, bei 3°C nachts und 10°C am Tag, durchgeführt. Vor dem eigentlichen Frost-Test wurden die jungen Pflanzen (Zweiblatt-Stadium) eine Woche bei 0°C nachts und 2,5°C tags weiter gehärtet. Ungehärtete Pflanzen entstammten einer durchgehenden Behandlung von 15°C nachts und 18°C tags. Für beide Behandlungen (gehärtet bzw. ungehärtet) wur-

**Material und Methoden in drei Experimenten mit Winter-Ackerbohnen:
Feldversuch, Klimakammer-Versuch, Fettsäure-Analyse**

Tabelle 3: Zwölf europäische Elite-Winterbohnen, zwölf spekulative Winterbohnen-Linien und sieben Kontroll-Genotypen mit Angabe der Erstzulassung und des Züchters und gegebenenfalls mit Kommentar

Sorten bzw. Linien aus Sorten

Bulldog/1 (1975/PBI bzw. 1990/Inst.Gött.)* Göttinger Population (1989/Univ.Gött.) Striker (1992/PBI) Ascochyta-resistent Silver (1998/Wberry) tannin-frei	Webo (1979/Littmann)* Karl (1990/Blondeau) sehr winterhart Target (1996/PBI) Diva (2002/Agri-Obt.)	Punch (1984/PBI) Hiverna/2 (1986/Littmann bzw. 1990/Inst.Gött.)* Clipper (1997/PBI) Irena (2002/Agri-Obt.)
--	---	---

Spekulative Genotypen

(Côte d'Or/1 x BPL4628)-05 ^a (Côte d'Or/1 x BPL4628)-50 ^a (Côte d'Or/1 x BPL4628)-95 ^a (Scir. x Côte d'Or/1)-3028-3 ^b	(Côte d'Or/1 x BPL4628)-29 ^a (Côte d'Or/1 x BPL4628)-66 ^a (Scir. x Côte d'Or/1)-3028-1 ^b (Scir. x Côte d'Or/1)-3029-1 ^b	(Côte d'Or/1 x BPL4628)-49 ^a (Côte d'Or/1 x BPL4628)-89 ^a (Scir. x Côte d'Or/1)-3028-2 ^b (Scir. x Côte d'Or/1)-3033-1 ^b
--	--	--

Vergleichs- und Kontroll-Genotypen

Göttinger Population (1989/Univ.Gött.) Hiverna (1986/Littmann) sehr winterhart Merkur (2004/Selgen) Sommerbohne	Côte d'Or/1 (vor 1950/INRA) alte Landsorte* Mythos (1988/NPZ) Sommerbohne	BPL4628(1521/INRA)Aus China Pistache (1989/Joorden's) Sommerbohne
---	--	--

^a F6-Linie ^b F3-Linie * diese Genotypen gehören zu den 11 Ausgangskomponenten der Göttinger Winter-Ackerbohnen-Population

Tabelle 4: Beschreibung der Umwelten im mehrjährigen und mehrortigen Feldversuch mit Winter-Ackerbohnen (EUFA-BA-Projekt; <http://www.ias.csic.es/eufaba/>)

Umwelten		Kumulierter Frost ^a	Mittlere Auswinterung (späte Bonitur ^b)	Kommentar
Hohenlieth, Deutschland	2003	878	3,29	Genotyp. Unterschiede
	2004	121	4,89	
	2005	430	2,04	
Göttingen, Deutschland	2003	2147	9,00	alles ausgewintert Genotyp. Unterschiede
	2004	296	7,38	
	2005	491	5,88	
Gleisdorf, Österreich	2003	1796	6,18	Genotyp. Unterschiede
	2004	918	1,29	
	2005	2295	3,61	
Šumperk, Tschechien	2004	2717	2,57	Genotyp. Unterschiede
	2005	2674	3,51	
Jõgeva, Estland	2004	5290	9,00	alles ausgewintert Genotyp. Unterschiede
	2005	5294	1,83	

^a Frost-Stunden (h) mit mehr als minus 6°C, multipliziert mit dem Frost (°C) ^b 1-9, 1 = völlig ausgewintert

den die Genotypen in drei „Beladungen“ evaluiert, mit drei Wiederholungen per Beladung. Eine Wiederholung war ein Block mit je einem Topf pro Genotyp, darin vier Pflanzen.

Der Test bestand aus sechs direkt aufeinanderfolgenden Frost-Stufen, eine Stufe wurde jeweils 4h bei ihrem maximalem Frost gehalten. Der Frost wurde von Stufe zu Stufe stärker, dazwischen lag je eine Auftauphase bei plus 3°C (Abbildung 2). Am Ende der Auftauphase wurden von jeder Pflanze drei Organe auf Symptome visuell bonitiert: das erste Blatt, das zweite Blatt und der Stängel; die Vorgehensweise ist an HERZOG (1987) angelehnt. Die Organe wurden auf Turgeszenz und Farbe bonitiert (1 = kein Frostschaden, 4 = max. Schaden).

Frostsymptome sind Turgeszenzverlust mit Glasigkeit und zur Gelbverfärbung (HEINO and TAPIO PALVA 2003).

Die Bonitur-Noten beider Merkmale in sechs Froststufen wurden für jedes Or-

gan und Pflanze in einen Wert zusammengefasst. Dazu wurde aus der Dauer (h) der Frostung (wobei nur Zeiten mit mehr als minus 6°C Frost pro Stufe gerechnet wurden) und aus der jeweiligen Frost-Temperatur das Produkt gebildet, welches dann mit der mittleren Symptomstärke weiter multipliziert wurde. So wurde die „Area Under Symptom Progress Curve“ (AUSPC) berechnet. Hohe Werte beschreiben dabei eine hohe Symptomausprägung, also eine geringe Frostresistenz. Danach wurde der Mittelwert für die AUSPC-Werte der zwei Merkmale, drei Organe und vier Pflanzen pro Topf berechnet; diese Werte wurden für die Varianzanalyse über Wiederholungen, Beladungen, Behandlungen und Genotypen verwendet.

Analyse der Fettsäurezusammensetzung im Spross

Als weiteren Ansatz im Zusammenhang mit der Frostresistenz wurden gehärtete und ungehärtete Blätter auf die Zusam-

mensetzung der Fettsäuren in den Blattlipiden untersucht. Die Genotypen wurden in zwei Experimenten mit je zwei Wiederholungen und in beiden Behandlungen (gehärtet, ungehärtet) untersucht. Bei Pflanzen mit zwei bis drei Blättern wurde das erste und zweite Blatt geerntet und bei 50°C über 48h hinweg getrocknet. Das trockene Material wurde fein zermahlen. Die Lipid-Extraktion aus dem Mahlgut wurde nach THIES (1971) durchgeführt. Die Fettsäureanalyse erfolgte in einem Gaschromatographen (Perkin Elmer 8600). Drei-Mikroliter-Proben wurden injiziert (Säule Perma-bond FFAP-0.25 µm, 25 m x 0.25 mm). Die Säule wurde bei 215°C gehalten. Die Injektor-Temperatur betrug wie die Detektor-Temperatur 280°C. Das Trägergas war Wasserstoff bei 100 kPa. Die individuellen Peaks wurden durch Vergleich mit Standardproben identifiziert (Abbildung 3). Die Menge jeder Fettsäure wurde als Prozent des gesamten Fettsäuregehaltes ausgedrückt.

Ergebnisse und Diskussion

In den Feldversuchen (Tabelle 4) waren die Genotypen in dem Merkmal Überwinterung, ebenso wie für Korntrag und Wuchshöhe hochsignifikant verschieden, trotz der agro-ökologisch sehr verschiedenen Standorte. Wie zu erwarten, ergaben sich hohe und ebenfalls hoch signifikante Genotyp x Umwelt-Interaktionen. Die Unterschiede zwischen den Genotypen waren auch dann hoch signifikant und bedeutsam, wenn man die Ergebnisse der drei Sommerbohnen aus der Analyse entfernte (Tabelle 5, Tabelle 6). In einer solchen Ana-

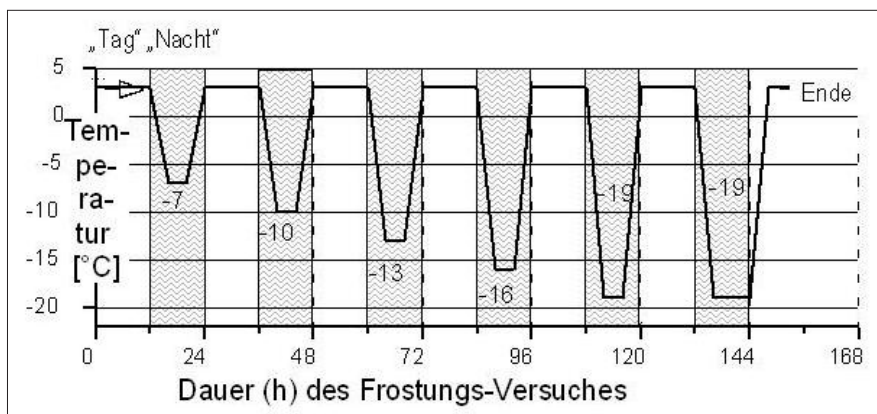


Abbildung 2: Ein Versuch in der Frostkammer bestand aus sechs Temperaturstufen

Tabelle 5: Varianzanalyse der mehrortigen, mehrjährigen Feldversuche

Var.-Ursache	Überwinterung (späte Bonitur, 1-9)			Korntrag (g/Parzelle)			Wuchshöhe (cm)		
	FG	MQ	F-Werte	FG	MQ (x 10 ⁴)	F-Werte	FG	MQ (x 10 ²)	F-Werte
Umwelt	10	123.4	89,6**	8	2464,1	173,90**	7	253,29	197,0**
Genotyp	27	6.7	4,8**	27	81,3	5,74**	27	13,42	10,0**
G x U	268	1.4	1,4**	213	14,1	3,80**	182	1,28	3,8**
Fehler	243	1.0	-	204	3,7	-	165	0,34	-

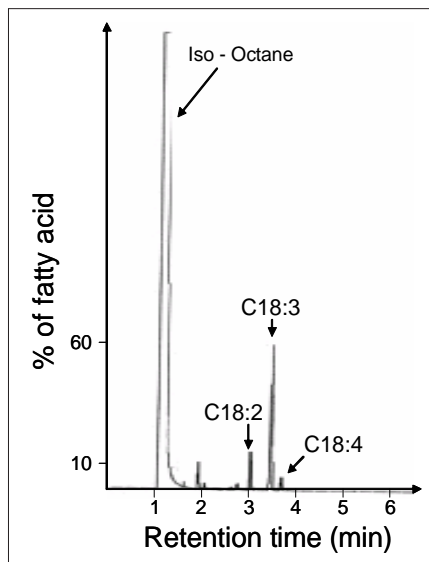


Abbildung 3: Identifizierung der einzelnen Fettsäuren aufgrund der Retentionszeit der einzelnen Peaks

lyse betrug die Erbllichkeit der Überwinterung $h^2 = 0,79$ und verspricht also einen sehr guten Erfolg der Auslese in diesem Material.

Die Umwelt mit der stärksten Differenzierung für Überwinterung war Šumperk im Jahr 2004, wo späte Bonituren für die Überwinterung von 1 bis 6 vergeben wurden. Die Temperaturen betragen hier z.B. Ende Januar mehrere Tage bis minus 30°C, allerdings bei geschlossener Schneedecke. Die Genotypen mit der

besten Überwinterung waren Hiverna und Hiverna/2. Der in Göttingen stärkste Frost trat auf am 9. Januar 2003, minus 17°C, die vorangegangenen Tage hatte schon starker Frost mit minus 12 bis minus 14°C geherrscht, es gab keine Schneedecke. Weiterer Frost unter minus 10°C trat im Februar 2003 und im März 2003 auf, was insgesamt zu vollständiger Auswinterung führte (Tabelle 4). Die Temperaturen in Jögeva fielen in den Wintern 2003/2004 und 2004/2005 auf minus 35°C, allerdings mit schützender Schneedecke und führten im ersten Winter zu vollständiger und im zweiten Jahr zu sehr erheblicher, aber nicht vollständiger Auswinterung (Tabelle 4). Die „beste“ späte Bonitur an dieser Umwelt entstand für Karl (Bonitur 2,75), danach kam die Göttinger W.-Population und Hiverna/2 (Bonitur 2,0; auf der Skala von 1 bis 9).

Die drei Sommerbohnen sind in allen Umwelten vollständig ausgewintert (Abbildung 4). Die im Gesamtmittel beste Überwinterung zeigten die Genotypen Côte d’Or/1, Hiverna/2, Bulldog/1, Karl und die Göttinger Winter-Ackerbohnen-Population. Danach kam mit etwas Abstand die Sorte Punch und die beste unter den spekulativen Linien, F3 (Sci x C’Or)3028-2. Die Korrelation des Ertrags mit anderen Merkmalen war domi-

niert von der Tatsache, dass die Bestandesdichte in den Parzellen wegen unterschiedlicher Überwinterung schwankte, und als Folge gut überwinterte Parzellen zu einem höherwüchsigen Bestand führten als schlecht überwinterte, schütterere Parzellen, die stark bestockte, kurzwüchsige Pflanzen hervorbrachten. Die Korrelation der Mittelwerte der Prüfglieder zwischen Ertrag und Wuchshöhe war entsprechend sehr hoch und positiv ($r=0,94^{**}$), zwischen Ertrag und Überwinterung ebenfalls positiv und signifikant (frühe Bonitur, $r = 0,42^{**}$, späte Bonitur, $r = 0,67^{**}$).

Ebenso wie im Feldversuch waren die Genotypen in der Klimakammer signifikant verschieden in ihrer Frostresistenz (AUSPC), sowohl im Mittel beider Behandlungen als auch je in der ungehärteten und in der gehärteten Behandlung, und es trat eine signifikante Wechselwirkung zwischen den Genotypen und den Behandlungen auf (Tabelle 7). Die Genotypen, die in der gehärteten Behandlung die höchste Frost-Toleranz zeigten, waren Karl, die Göttinger Population und die Linie F6(C’Or x BPL)-95 (Abbildung 4), danach folgten die Linien F6(C’Or x BPL)-89 und F3 (Sci x C’Or)3028-2. In der ungehärteten Behandlung zeigten die Linien F6(C’Or x BPL)-95 und F6(C’Or x BPL)-89 sowie die Linie F3 (Sci x C’Or)3028-3 die geringsten Symptome (AUSPC, Abbildung 5).

Die Korrelation zwischen den Feldergebnissen und den Ergebnissen aus der Klimakammer (gehärtete Behandlung) war nur mäßig hoch und signifikant (Abbildung 4, $r = -0,44^*$). Es wird hier der Spearman Rangkorrelationskoeffizient angegeben, damit die Korrelation durch den großen Abstand zwischen den drei Sommerbohnen und den Winterbohnen nicht aufgebläht wird. Übereinstimmend sind Karl und die Göttinger Population überlegen in ihrer Merkmalsausprägung. Das Ergebnis der Linie Bulldog/1 ist erstaunlich, da diese Linie sehr gute Über-

Tabelle 6: Agronomische Ergebnisse der bezüglich Überwinterung besten Prüfglieder, im Mittel der Standorte und der Jahre 2003-2005

Genotyp	Überwinterung (späteBonitur) ^a	Korntrag (g/Parzelle)	Wuchshöhe (cm)
Côte d’Or/1	5,50	^b	^b
Hiverna/2	5,44	1118	85,1
Hiverna	5,38	1226	86,9
Bulldog/1	5,07	1115	88,8
Karl	5,04	1138	86,6
GöttWBPop	4,88	1400	89,7
Punch	4,09	1119	86,7
F3 (Sci x C’Or)3028-2	4,05	974	72,1
Anzahl Umwelten	11	9	8
Mittelwert	3,77	835,8	74,4
LSD(5%)	0,99	349,8	11,2
Erblichkeit (i.w.S.)	0,793	0,826	0,904
F-value (Genot.)	4,84**	5,74**	10,54**

^a 9 = ohne Schaden 1 = völlig ausgewintert ^b nicht erfasst

Tabelle 7: Varianzanalyse der Ergebnisse der Klimakammer-Versuche

Variations-Ursache	FG	MQ (*10 ³)	F-Werte	GD(5%)
Behandlung	1	184022,9	163,2**	249
Experiment	4	1127,9	17,1**	82
Wiederholung	12	65,8	6,1**	52
Genotyp	30	219,0	8,9**	103
Gen. x Beh.	30	51,7	2,1**	146
Gen. x Exp.	120	24,6	2,3**	167
Fehler	360	10,8		

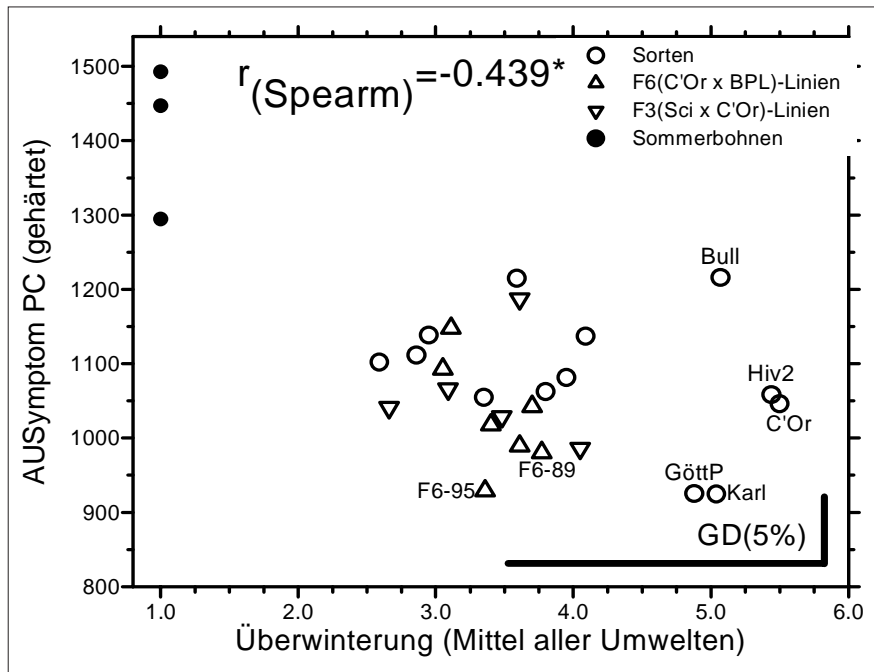


Abbildung 4: Zusammenhang zwischen der mittleren Überwinterungsfähigkeit der Genotypen an 11 Umwelten und der Stärke der Frostsymptome gehärteter Pflanzen in der Klimakammer

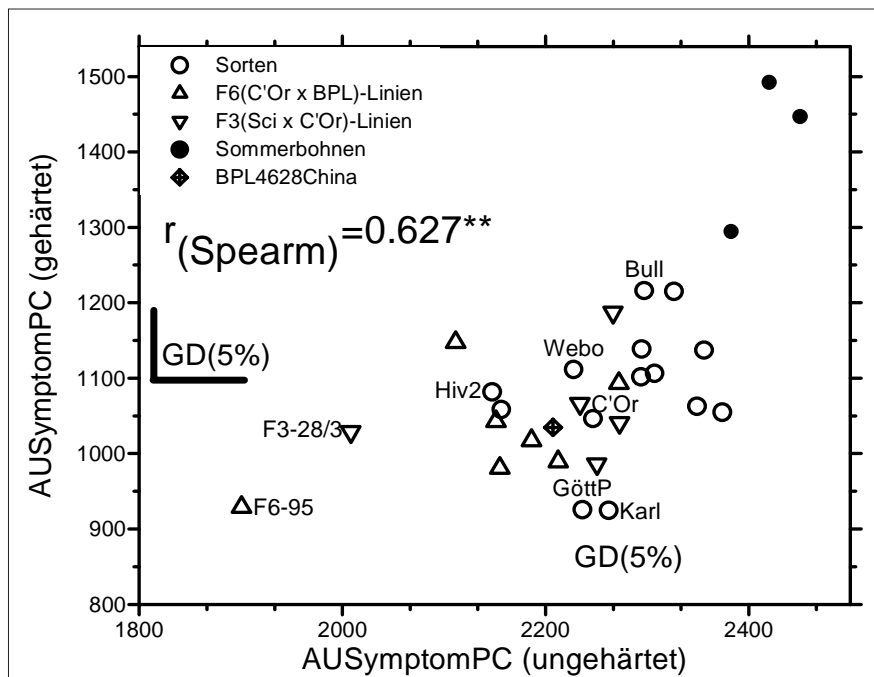


Abbildung 5: Zusammenhang zwischen der Stärke der Frostsymptome in der Klimakammer bei ungehärteten und gehärteten Pflanzen

winterung im Feld mit relativ schlechter Frostresistenz in der Klimakammer kombiniert (Abbildung 4).

Trotz bedeutender und signifikanter Wechselwirkung zwischen Behandlung und Genotyp für die AUSPC (Tabelle 7) sind die Ergebnisse der Genotypen in diesen zwei Behandlungen hoch signifikant korreliert ($r = 0,63^{**}$, Abbildung 5). Die Göttinger Population und Karl sind ohne Härtung relativ empfindlich, während sie nach Härtung die höchste Resistenz zeigen.

Eine Härtung führte in diesem Material zu einer signifikanten Zunahme des Gehaltes der dreifach ungesättigten Linolensäure (C18:3) von 51% auf 57% (Tabelle 8) und zugleich zu einer Abnahme von C18:1, während sich der Gehalt an C18:2 nur wenig verringerte. Aus der Literatur (PALTA et al., 1993; COLLINS et al., 2002; CYRIL et al., 2002; WEI et al., 2005) ist bekannt, dass die Doppelbindung in ungesättigten, membrangebundenen Fettsäuren (Phospholipiden, Glycolipiden) wichtig für die Fließfähigkeit (Fluidität) der Membrane sind und dass sie diese Fließfähigkeit bei niedrigen Temperaturen aufrechterhalten. Membrane mit höheren Gehalten an gesättigten Fettsäuren gehen bei Kälte eher von fließfähiger Phase in eine Gel-Phase über, in der die Lipide dicht gepackt und stark geordnet vorliegen, was die normalen physiologischen Funktionen stört. Die drei Sommerbohnen zeichneten sich durch relativ geringe härtungsbedingte Zunahmen von C18:3 aus (Abbildung 6), die höchste Zunahme zeigt die chinesische Linie BPL4628. Es wurde eine mäßig starke, signifikante Korrelation gefunden zwischen hoher Frostanfälligkeit in den Klimakammer-Versuchen und niedriger Zunahme von Linolensäure durch Härtung ($r = -0,44^*$). Auch die Bonitur der Überwinterung in den Feldversuchen zeigte, dass geringe Zunahme von C18:3 häufiger mit schlechter als mit guter Überwinterung einhergeht ($r = 0,46^*$, Abbildung 7).

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Prüfglieder Hiverna (bzw. Hiverna/2), die Linie Bulldog/1, die Sorte Karl und die Göttinger Winter-Ackerbohnen-Population eine Winterhärte zeigen, die für mäßig kalte Standorte wie das Göttinger Leinetal ausreicht; in den vergangenen

16 Wintern traf dies zweimal nicht zu. Es sind vielversprechende Eltern für eine Züchtungsarbeit. Die neuen, spekulativen Linien F6(Côr1 x BPL)-95 und F6(Côr1 x BPL)-89 erwiesen sich als frostresistent. Es zeigte sich mit F4 (Sci-

rocco x Côte d'Or/1)-3028-2 (Feldversuch, AUSPC in der gehärteten Behandlung), dass auch aus einer Kreuzung mit einer Sommerbohne (Sciocco) nützliche, frostharte Linien herauspalten können. Die exotische Linie BeanPureLine/

4628 und ihr Nachkomme, die Linie F6(Côr1 x BPL)-95, realisierten eine härtingsbedingt starke Erhöhung des C18:3-Gehaltes im Blatt. Der Gehalt von Linolensäure (C18:3) ist auch bei Winter-Ackerbohnen ein Merkmal, welches mit Aussicht auf Erfolg weiter im Zusammenhang mit Frostresistenz untersucht werden muss. Es war interessant zu sehen, dass es ein Prüfglied wie Bullog/1 gab, welches offensichtlich über abweichende Mechanismen zu guter Überwinterung kommt. Zu solchen weiteren Mechanismen kann gehören, dass über sekundäre Inhaltstoffe wie Prolin, über spezielle Zucker und Protein eine Frostresistenz erreicht wird (WIE et al., 2005), dass die Härtung nach milden Phasen und zu Winterende nur langsam zurückgeht, dass eine Resistenz gegen Frosttrocknis vorliegt, ebenso wie Resistenz gegen bodenbürtige Pilze in der kritischen Zeit direkt nach der Schneeschmelze.

In weiteren Arbeiten sollen 101 Linien aus der Kreuzung [Côte d'Or/1 x BPL4628] auf ihre Frostresistenz und C18:3-Reaktion untersucht werden, und ebenso die 300 Linien, die über SSD aus der Göttinger Winter-Ackerbohnen-Population stammen. Um zu Transgression der Winterhärte zu kommen, könnte folgende Kreuzung vorgeschlagen werden: [(Hiv/2 x Bull/1) x F7(Côr1 x BPL)-95]. Weitere Exoten wie ILB12, ILB14, ILB 318, ILB 3187 (Cixi Dabaican), ILB 2999, die von OLSZEWSKI (1995) als frostresistent identifiziert wurden, sollten zukünftig ebenfalls genutzt werden; eine Suche nach neuen Geniteuren in Genbanken und vor Ort, z.B. im Hindukusch, erscheint ebenso sehr sinnvoll.

Literatur

BERTHELEM, P., 1970: Rapport d'activité de la Station d'Amélioration des Plantes de Rennes (INRA), Rennes, France.
 BOND, D.A., G.J.JELLIS, J.A. HALL, S.J. BROWN, M. POPE and M.H.E. CLARKE, 1986: Field beans. In: Plant Breeding Institute, Cambridge, Annual Report, 41-46.
 BOND, D.A. and G.R.A. CROFTON, 1999: History of winter beans (*Vicia faba*) in the UK. Journal of the Royal Agricultural Society of England 160, 200-209.
 COLLINS, R.P., A.H. MARSHALL and M.T. ABBERTON, 2002: Strategies for improving stress tolerance in white clover. IGER innovations 2002, 24-27.

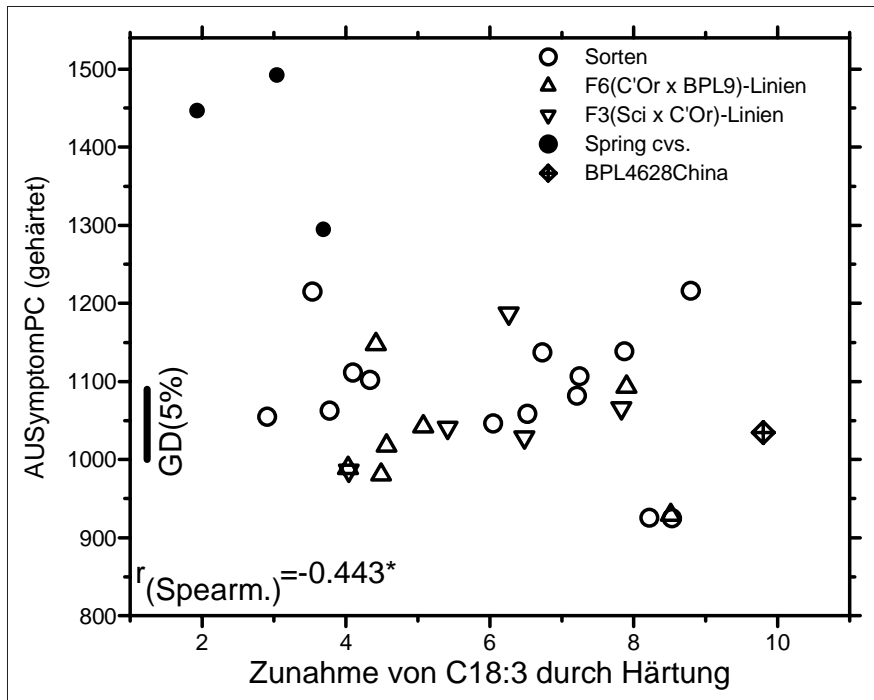


Abbildung 6: Zusammenhang zwischen der Zunahme der Linolensäure (C18:3) in den Blättern aufgrund der Härtung und der Stärke der Frostsymptome gehärteter Pflanzen in der Klimakammer

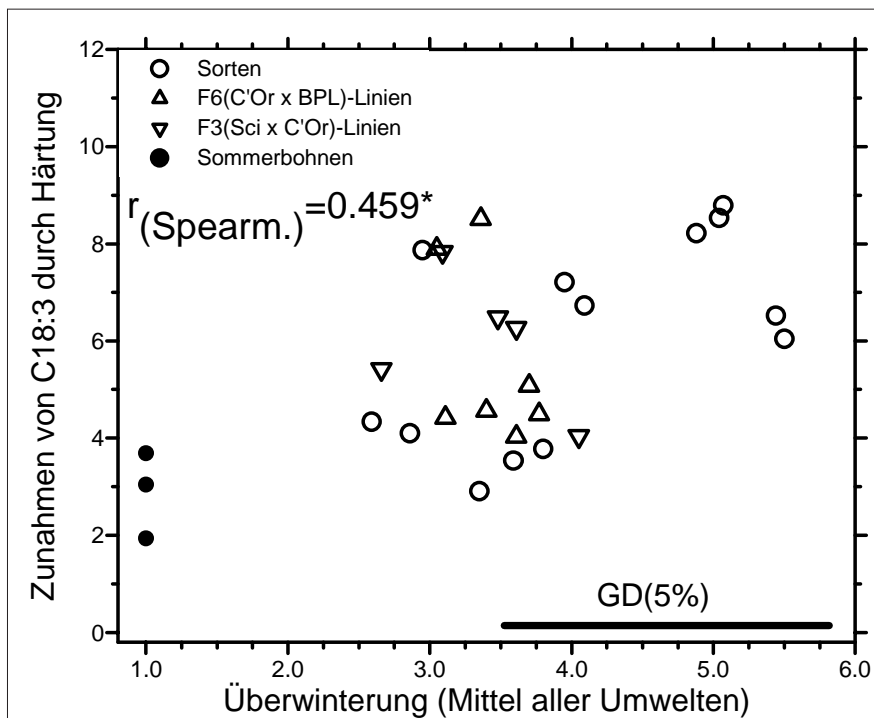


Abbildung 7: Zusammenhang zwischen der mittleren Überwinterungsfähigkeit der Genotypen an 11 Umwelten und der Zunahme der Linolensäure (C18:3) in den Blättern aufgrund der Härtung

Tabelle 8: Ergebnisse der Varianzanalyse der Fettsäurezusammensetzung

Variations-Ursachen	FG	F-Werte der wichtigsten Fettsäuren				
		C16:0	C18:1	C18:2	C18:3	C18:4
Behandlung	1	3,14	81,37**	4,31	39,73**	2,07
Genotypen	29	3,30	4,40**	1,86**	2,50**	2,74**
G x B	29	1,11	1,37	0,63	1,06**	1,19
Behandlungen			Mittelwerte			
ungehärtet		10,58	7,25	19,77	50,84	6,61
gehärtet		9,77	4,01	18,07	57,11	5,72
			GD (5%) für Genotypen			
		-	1,56	1,87	2,92	0,88

- CYRIL, J., G.L. POWELL, R.R. DUNCAN and W.V. BAIRD, 2002: Changes in membrane polar lipid fatty acids of seashore paspalum in response to low temperature exposure. *Crop Science* 42, 2031-2037.
- DUBOIS, G., 2005: Protein crops in 2005: areas, yields and production in the EU. *Grain Legumes* 44, 22-24.
- DUC, G. and F. PETITJEAN, 1995: Study on the inheritance of freezing tolerance in *Vicia faba* L. 2nd Europ. Conf. on Grain Legumes, AEP, Copenhagen, 130-131.
- ELLIS, R.H., R.J. SUMMERFIELD and E.H. ROBERTS, 1988: Effects of temperature, photoperiod and seed vernalization on flowering in faba bean, *Annals of Botany* 61, 17-27.
- EVANS, L.T., 1959: Environmental control of flowering in *Vicia faba* L., *Annals of Botany* 23(92), 521-546.
- GASIM, S., S. ABEL and W. LINK, 2003: Extent, variation and breeding impact of natural cross-fertilization in German winter faba beans. *Euphytica* 136, 193-200.
- GEHRIGER, W. et P. VULLIQUOD, 1982: Les variétés de féverole d'automne. Résultats des essais 1976-1981. *Revue Suisse Agric.* 14(3), 117-121.
- HAUSER, S. und W. BÖHM, 1984: Erfahrungen und Ergebnisse mit dem Anbau von Winterackerbohnen. *KALI-Briefe (Büntehof)* 17(1), 39-52.
- HEINO, P. and E. TAPIO PALVA, 2003: Signal transduction in plant cold acclimation. In: *Plant responses to Abiotic Stress. Topics in Current Genetics*, Vol. 4, 151-186.
- HERZOG, H., 1987: A quantitative method to assess freezing resistance in faba beans. *J. Agronomy and Crops Science* 158, 195-204.
- HERZOG, H., 1989: Influence of pre-hardening duration and dehardening temperatures on varietal freezing resistance in faba beans (*Vicia faba* L.), *Agronomie* 9, 55-61.
- KITTLITZ, E. von, 1974: Ergebnisse mehrjähriger Feldversuche mit Winterackerbohnen und einige Konsequenzen für die Züchtung. 18. Jahrestagung der Ges. Pflanzenbauwiss. 4.
- LITTMANN, H., 1979: Winterbohnen. Veröffentlichung des Rationalisierungs-Kuratoriums für Landwirtschaft, August 1979, 167-170.
- OLSZEWSKI, A. und H. HERZOG, 1994: Frostresistenz-Verbreitung bei *Vicia faba* L., *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 7, 411-413.
- OLSZEWSKI, A., 1995: Optimierung der Frostschadensbestimmung mit Hilfe der Chlorophyll-Fluoreszenz-Methode und deren Einsatz für ein Frostresistenzscreening bei *Vicia faba* L., *Shaker Verlag*, Aachen.
- PALTA, J.P., B.D. WHITAKER and L.S. WEISS, 1993: Plasma membrane lipids associated with genetic variability in freezing tolerance and cold acclimation of solanum species. *Plant Physiology* 103, 793-803.
- SOJA, A.-M. und O. STEINECK, 1986: Experimentalergebnisse über die Prüfung des Vernalisationsbedarfes von Winterformen der Ackerbohne (*Vicia faba* L.), *Die Bodenkultur* 37, 109-119.
- STODDARD, F., C. BALKO, W. ERSKINE, H.R. KHAN, W. LINK and A. SARKER, 2006: Screening techniques and sources of resistance to abiotic stresses in cool season food legumes, *Euphytica* 147, 167-186.
- THIES, W., 1971: Schnelle und einfache Analysen der Fettsäurezusammensetzung in einzelnen Rapskotyledonen. I. Gaschromatographische und papierchromatographische Methoden. *Z. Pflanzenzüchtg.* 65, 181-202.
- WEI, H., A.L. DHANARAJ, R. ARORA, L.J. ROWLAND, Y. FU and L. SUN, 2005: Identification of cold acclimation-responsive *Rhododendron* genes for lipid metabolism, membrane transport and lignin biosynthesis: Importance of moderately abundant ESTs in genomic studies. *Plant, Cell and Environment*, 1-13.