

Variabilität des Fettsäuremusters bei *Borago officinalis* L. als Grundlage zur Verbesserung der Ölqualität

Variability of fatty acid composition in *Borago officinalis* L. as basis to improve the oil quality

Gabriele Knipp, Andrea Malko, R. A. Marquard & B. Honermeier
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I, Universität Giessen

Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war die Erfassung und Beurteilung der Variabilität des Fettsäuremusters bei *Borago officinalis* L. Dabei wurde im γ -Linolensäuregehalt und im Erucasäuregehalt eine hohe Variabilität zwischen den untersuchten Herkünften als auch innerhalb einer Herkunft beobachtet. Zwischen den Pflanzen einer Herkunft wurde außerdem eine erhebliche Variationsbreite der γ -Linolensäure und der Erucasäure innerhalb eines Jahres nachgewiesen, die zur Selektion genutzt werden kann. Die in der Gesamtauswertung überwiegend negative Korrelation zwischen der γ -Linolensäure und der Erucasäure ergibt sich vermutlich aus dem Reifegrad der untersuchten Samen sowie aus den Klimakonstellationen und den Standortfaktoren. Sie ist als umweltbedingte Korrelation einzustufen und kann nicht zur Selektion bei *Borago officinalis* L. genutzt werden. Die Untersuchung des homogenen Materials in den Versuchen 1997/2 und 1999 deutet auf eine geringe Korrelation der züchterisch relevanten Fettsäuren unter den gewählten Anbaubedingungen hin. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass für die Selektion von *Borago officinalis* L. auf hohen γ -Linolensäure- und niedrigen Erucasäuregehalt die Homogenität des Untersuchungsmaterials, vor allem ein gleicher Reifegrad der Samen und gleiche Wachstumsbedingungen entscheidende Voraussetzungen sind. Die Verbesserung phänotypischer Merkmale, wie z. B. determiniertes Wachstum und gleichmäßige Abreife der Pflanze, ist deshalb ein wichtiges Ziel der laufenden Borretschzüchtung.

Schlüsselwörter: *Borago officinalis* L., Gamma-Linolensäure, Erucasäure, Fettsäuresynthese

Summary

This study aims at a recording and evaluating of the variability of fatty acid patterns in *Borago officinalis* L. A high variability in gamma-linoleic acid content and erucic acid content could be observed among the provenances examined. Moreover, a considerable range of variation in gamma-linoleic acid and erucic acid in plants of the same provenance which could be utilized for selection was established within one year. The tendency to a negative correlation which was observed during the annual total evaluation may result from the degree of ripeness of the seeds examined, climatic constellations, and environmental factors, and thus has to be classified as an environmental correlation which can not be implemented as a means for selection in the breeding of *Borago officinalis* L. Examination of the homogeneous material in 1997/2

and 1999 rather indicates a low correlation of the fatty acids which are of relevance in plant-breeding under the chosen conditions for cultivation. This study proves that homogeneity of the material to be examined, and especially an equal level of maturity of the seeds and equal conditions for cultivation, are necessary preconditions for evaluation and selection with regard to gamma-linoleic acid and erucic acid in *Borago officinalis* L. Therefore, improvement of agronomic characteristics such as determinate growing and regular maturing of plants is another important aim of the current breeding of borage.

Keywords: borage, gamma-linolenic acid, erucic acid, fatty acid synthesis

Einleitung

Borretsch (*Borago officinalis* L.), der nach HANELT (2001) zur Familie der *Boraginaceae* (Rauhblattgewächse) zählt, ist in humiden und mediterranen Regionen verbreitet. Neben der Verwendung der Blätter als Gewürz ist vor allem die Nutzung der Samen von Bedeutung, die einen Ölgehalt von 28–38 % mit einem Anteil an γ -Linolensäure von 17–25 % besitzen (JANICK et al. 1989, SIMON et al. 1997). Der Gehalt dieser Fettsäure ist im Borretschsamenöl wesentlich höher als im Samenöl der pharmazeutisch genutzten Nachtkerze (*Oenothera biennis* L.), während sie in anderen wirtschaftlich bedeutsamen Ölpflanzen wie Raps, Soja, Sonnenblumen und Lein nicht vorkommt. Das Interesse an Samenölen mit hohem Anteil an γ -Linolensäure leitet sich aus der ernährungsphysiologischen und pharmazeutischen Bedeutung dieser Fettsäure ab. α -Linolensäure (C 18:3 ω -3) und γ -Linolensäure (C 18:3 ω -6) sind Ausgangsstoffe der Biosynthese von Eicosanoiden (z. B. Prostaglandinen), welche als Mediatoren eine wesentliche Rolle bei verschiedenen physiologischen Vorgängen spielen. So sind beide Fettsäuren für die Lipidbarrierefunktion der Epidermis von Bedeutung, da sie der Haut als Baustein der Ceramide dienen (SCHÖPF et al. 1997, KAUTZKY et al. 1997). Belegt ist die Wirksamkeit der γ -Linolensäure zur Behandlung der Atopischen Dermatitis, deren Ursache u.a. in einer verminderten Aktivität der Delta-6-Desaturase vermutet wird (BANGHA & AMON 1999, MELNIK & BAHMER 1995).

Voraussetzung für eine erfolgreiche Inkulturnahme von Borretsch als Samenölpflanze sind pflanzenzüchterische und pflanzenbauliche Forschungsarbeiten, die zur Verbesserung des Samen- und Ölertrages sowie zur Sicherung der geforderten Ölqualität beitragen (KNIPP & HONERMEIER 2002). Von NICHOLLS (1997) und GALWAY & SHIRLIN (1990) wird ein Gesamtölgehalt von mindestens 30 % mit

einem Anteil von mindestens 24 % γ -Linolensäure und maximal 2,5 % Erucasäure gefordert. Bisher ist bei *Borago officinalis* kaum bekannt, ob Unterschiede in der Fettsäurezusammensetzung zwischen Wildherkünften, kultivierten Formen und Genbankkzessionen bestehen. Kenntnisse über die Ausprägung der Fettsäurezusammensetzung im Samenöl und deren Beeinflussung sind jedoch für Züchtung und Anbau von Borretsch als Samendrogenpflanze von Bedeutung. Das Ziel der durchgeführten Untersuchungen bestand deshalb darin, die Variabilität des Fettsäuremusters und das Verhältnis der züchterisch relevanten Fettsäuren γ -Linolensäure und Erucasäure zueinander bei *Borago officinalis* L. in Abhängigkeit von der Herkunft zu analysieren, um daraus Schlussfolgerungen für die zukünftige Züchtung abzuleiten.

Material und Methoden

In den Jahren 1996 und 1997 wurden insgesamt 510 Fettsäureanalysen von Samen unterschiedlicher Borretschherkünfte durchgeführt, die aus Botanischen Gärten, Genbanken, aus dem Handel sowie aus einem lokalen Bauerngarten bezogen wurden (s. Tab. 1). Insgesamt standen 15 Herkünfte zur Verfügung. Im Jahr 1996 wurden die erhaltenen Samen nach modifizierter Halbkornmethode (THIES 1971) analysiert (insgesamt 160 Analysen) und die daraus gewonnenen Pflanzen in Abhängigkeit vom Untersuchungsergebnis ausgelesen und kultiviert. Im Jahr 1997 erfolgte zunächst eine nochmalige Analyse von Samen gleicher sowie zusätzlich bezogener Herkünfte nach der Halbkornmethode (1997/1 mit insgesamt 182 Analysen). Die daraus gewonnenen Pflanzen wurden in der Gefäßversuchsstation Rauschholzhausen (Freigelände) kultiviert, im zweiten Halbjahr 1997 (1997/2) geerntet und mittels Fünfkornmethode (THIES 1976, MARQUARD 1980) gaschromatographisch untersucht. Zusätzlich wurden die Herkünfte Ägypten und Bonn über Stecklinge kloniert und deren Aufwuchs ebenfalls gaschromatographisch analysiert. Daneben wurden im Jahr 1999 Pflanzen aus Saatgut der Firma Bornträger (Offstein) in einem Gewächshaus (Mitscherlich-Gefäße) zur Gewinnung von Samen kultiviert und durch Isolation geselbstet. Daraus wurden 120 Pflanzen nach phänotypischen Merk-

malen selektiert und das Fettsäuremuster dieser Pflanzen (708 Samen) nach der Halbkornmethode von THIES (1971) bestimmt. Insgesamt wurden im Untersuchungszeitraum 1218 Fettsäureanalysen durchgeführt.

Modifizierte Halbkornmethode nach THIES (1971): Die Samen wurden auf feuchtem Filterpapier in geschlossenen Petrischalen dunkel, bei 28 °C angekeimt. Nach Aufplatzen der Samenschale und Austritt der Keimwurzel wurde die Samenschale vorsichtig entfernt und 2/3 eines Keimblattes zur Analyse abgetrennt, getrocknet, homogenisiert und die Fettsäuren mit einem iso-Octan/Isopropanol-Gemisch extrahiert. Nach dem Abdampfen des Lösungsmittels erfolgte die Methylierung der Fettsäuren mit Natriummethylat. Die Fettsäuremethylester wurden in iso-Octan überführt, nach Phasentrennung in GC-Fläschchen pipettiert und gaschromatographisch bestimmt. Der Restembryo wuchs auf einem mit Filterpapier ausgelegten Sandbett unter Glas heran und konnte nach einer Woche in Quickpots gepflanzt werden. Die Pflanzen mit dem bekannten Fettsäuremuster wurden nach Vorliegen der Analysenergebnisse klassifiziert bzw. selektiert und in Mitscherlich-Gefäßen (6,2 l) im Gewächshaus der Gefäßversuchsstation weiterkultiviert. Bei der sogenannten Fünfkornmethode wurden jeweils fünf Samen einer Pflanze mit 1,5 ml Petroleumbenzin versetzt und homogenisiert. Methylierung und Analyse entsprachen der Halbkornmethode.

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS, Version 10. Die Ergebnisse wurden mit Hilfe der deskriptiven Statistik sowie mit der Korrelationsanalyse nach PEARSON verrechnet. Die Signifikanzen werden bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % (*), 1 % (**) und 0,1 % (***) angegeben. Zur Überprüfung der Ähnlichkeitsverhältnisse zwischen den Herkünften wurde als Distanzmaß der Quadrierte Euklidische Abstand mit Hilfe einer Hierarchischen Clusteranalyse nach vorheriger z-Transformation der Daten für die Gehalte an γ -Linolensäure und Erucasäure berechnet. Voraussetzung für die Anwendung der Halbkornmethode bei dikotylen Pflanzen ist, dass das Fettsäuremuster eines Samens dem des äußeren Kotyledons entspricht (THIES 1971), was auch bei Borretsch nachgewiesen wurde (BAETZEL 1996).

Ergebnisse

In der Fettsäurezusammensetzung des Öles der Borretschsamen dominieren die Linolsäure (32,4–35,6 %), die γ -Linolensäure (17,3–25,5 %) und die Ölsäure (15,9–21,5 %) (vgl. Tab. 2). Nur geringe Anteile werden von der Eicosensäure (4,4–4,8 %), der Erucasäure (1,2–1,8 %) und der Nervensäure (1,2–1,8 %) eingenommen. Die Gehalte an gesättigten Fettsäuren (Palmitin- und Stearinsäure) lagen in den durchgeführten Untersuchungen im Mittel bei 15 %. Die Mittelwerte der Fettsäuregehalte aller Untersuchungsjahre entsprechen bis auf wenige Ausnahmen den Angaben der DAC-Monografie für Borretschsamenöl (ANONYMUS 1999), die die mittlere Zusammensetzung des auf dem Markt verfügbaren Borretschsamenöls angibt (vgl. Tab. 2).

Im Jahr 1996 und im ersten Halbjahr 1997 (1997/1) wurde die Variation des Fettsäuremusters von 13 unterschiedlichen Provenienzen untersucht. Zu fünf dieser Herkünfte (Bonn, Bornträger, Ungarn 2, Rauschholzhausen, Ägypten) können aufgrund des größeren Probenumfangs repräsentativere Aussagen zum Fettsäuremuster getroffen werden (Tab. 3). Die Herkünfte Rauschholzhausen und Ungarn 2, die im Jahr 1996 untersucht wurden, bilden zusammen mit fünf weiteren Herkünften im Dendrogramm

Tab. 1: Verwendete Herkünfte von *Borago officinalis* L. zur Durchführung von Fettsäureanalysen

Provenances of Borago officinalis L. used for fatty acid analyses

Herkunft	Anzahl der Samen bzw. Pflanzen (n)		
	1996	1997/1	1997/2
Bauerngarten	15	–	3
Bonn	63	87	96
Bonn (Klone)	–	–	7
Handelsware	2	–	1
Rauschholzhausen	26	–	3
Tübingen	12	3	–
Wien	9	5	5
Ungarn 1	13	2	3
Ungarn 2	20	5	5
Ägypten	–	40	–
Ägypten (Klone)	–	–	3
Bornträger Offstein	–	20	24
Gatersleben 1	–	6	8
Gatersleben 2	–	10	8
Gatersleben 3	–	4	2
Summe	160	182	168

Tab. 2: Relative Anteile und Korrelationsbeziehungen der Fettsäuren im Samenöl von *Borago officinalis* L. in den Jahren 1996, 1997/1, 1997/2, 1999 (\pm SE)Proportion and correlations of fatty acids in seed oil of *Borago officinalis* L. in 1996, 1997/1, 1997/2, 1999 (\pm standard deviation)

Fettsäuren	1996 Halbkornmethode n = 160	1997/1 Halbkornmethode n = 182	1997/2 Fünfkornmethode n = 168	1999 Halbkornmethode n = 708	DAC Monografie Borretschöl
Fettsäuregehalte in %					
C 16:0	11,1 \pm 0,21	12,9 \pm 0,13	11,5 \pm 0,08	11,1 \pm 0,04	9,0–13,0
C 18:0	4,63 \pm 0,12	4,7 \pm 0,07	5,5 \pm 0,08	4,9 \pm 0,06	3,0–5,0
C 20:0					max. 1,0
C 22:0					max. 0,5
C 16:1					max. 0,5
C 18:1	19,6 \pm 0,48	21,5 \pm 0,29	18,9 \pm 0,22	15,9 \pm 0,17	14,0–20,0
C 18:2	35,5 \pm 0,30	32,4 \pm 0,22	35,6 \pm 0,15	34,9 \pm 0,10	34,0–45,0
α -C 18:3				0,4 \pm 0,03	max. 1,5
γ -C 18:3	18,9 \pm 0,31	17,3 \pm 0,24	19,1 \pm 0,18	25,5 \pm 0,17	18,0–25,0
C 20:1	4,6 \pm 0,05	4,8 \pm 0,07	4,4 \pm 0,42	4,4 \pm 0,02	3,0–5,0
C 22:1	3,2 \pm 0,10	3,8 \pm 0,20	3,0 \pm 0,91	2,8 \pm 0,03	1,0–4,0
C 24:1	1,8 \pm 0,13	1,2 \pm 0,09	1,3 \pm 0,24	1,5 \pm 0,01	1,0–3,0
Rest	0,6 \pm 0,05	1,2 \pm 0,10	0,6 \pm 0,02	0,1 \pm 0,02	max. 2,0
Korrelationskoeffizient (r)					
C 18:1/ γ -C 18:3	-0,835***	-0,781***	-0,821***	-0,847***	
C 18:1/C 22:1	+0,539***	-0,035	-0,186*	-0,200***	
γ -C 18:3/C 22:1	-0,524***	-0,191**	-0,088	+0,156***	

Tab. 3: Gehalte an γ -Linolensäure und Erucasäure sowie Korrelationsbeziehungen zwischen diesen Fettsäuren bei einzelnen Herkünften von *Borago officinalis* L. in den Jahren 1996, 1997/1, 1997/2, 1999 (\pm Standardfehler)Contents of gamma-linoleic acid and erucic acid and correlations between these fatty acids of some provenances of *Borago officinalis* L. in 1996, 1997/1, 1997/2, 1999 (\pm standard deviation)

Herkunft	Anbauort	Anzahl	C 18:1 in %	γ -C 18:3 in %	C 22:1 in %	Korrelations- koeffizient γ -C18:3/C22:1
1996						
Bonn	Rh	63	21,6 \pm 0,86	17,1 \pm 0,50	3,7 \pm 0,18	-0,666***
Ungarn 2	Rh	20	16,9 \pm 1,03	20,8 \pm 0,71	3,3 \pm 0,25	+0,178
Rh	Rh	26	17,8 \pm 0,52	22,1 \pm 0,36	2,7 \pm 0,17	+0,090
1997/1 (1. Versuch)						
Bonn	Bonn	87	20,9 \pm 0,41	17,6 \pm 0,31	3,9 \pm 0,32	+0,015
Bornträger	Offstein	20	21,8 \pm 0,69	17,4 \pm 0,47	2,9 \pm 0,16	+0,036
Ägypten	Ägypten	40	23,2 \pm 0,48	15,1 \pm 0,43	4,7 \pm 0,60	-0,456**
1997/2 (2. Versuch)						
Ägypten	Rh	3	19,1 \pm 0,72	18,1 \pm 0,98	2,7 \pm 0,18	-0,872
Bonn (Klone)	Rh	7	19,9 \pm 1,47	18,4 \pm 1,08	2,5 \pm 0,24	-0,087
Bonn	Rh	96	18,4 \pm 0,22	19,5 \pm 0,21	3,0 \pm 0,12	-0,162
Bornträger	Rh	24	19,7 \pm 0,56	18,1 \pm 0,44	2,8 \pm 0,32	-0,292
1999						
Bornträger	Rh	708	15,9 \pm 0,17	25,5 \pm 0,17	2,8 \pm 0,03	+0,156***

Legende: Rh = Rauschholzhausen

ein Cluster mit ähnlicher Ausprägung der γ -Linolensäure- und Erucasäuregehalte (s. Abb. 1). Diese Herkünfte zeichnen sich durch einen relativ hohen γ -Linolensäuregehalt von 22,1 % bzw. 20,8 % bei einer Variationsbreite von 19,2–27,9 % bzw. 13,0–25,9 % aus (s. Tab. 3). Die Herkunft Rauschholzhausen weist außerdem einen sehr niedrigen mittleren Erucasäuregehalt von 2,7 % mit einer Schwankungsbreite von 1,3–4,3 % auf. Genotypen dieser Herkunft könnten daher als Ressource für Züchtungsarbeiten genutzt werden.

Von den Herkünften, die im ersten Halbjahr 1997 (1997/1) untersucht wurden, unterscheidet sich die Herkunft Ägypten mit 23,2 % Ölsäure, 15,1 % γ -Linolensäure und 4,7 % Erucasäure deutlich von den anderen Herkünften

(vgl. Tab. 3). Zwischen der γ -Linolensäure und der Erucasäure bestand hier mit $r = -0,456^{**}$ eine geringe Korrelation. Daneben konnte bei dieser Herkunft die größte Variation für Erucasäure (2,2 bis 25,9 %) und für γ -Linolensäure (7,3 bis 21,1 %) beobachtet werden. Bei 5 % der Pflanzen lag der Erucasäuregehalt über 10 %. Deutlich wird dies auch in Abb. 1, in der die Herkunft Ägypten ein separates Cluster mit der größten Abweichung von allen anderen Herkünften bildet.

Die Herkunft Bornträger zeichnet sich durch einen niedrigen mittleren Erucasäuregehalt von 2,9 % im ersten Halbjahr 1997 (1997/1) und 2,8 % im zweiten Halbjahr 1997 (1997/2) aus. Diese Herkunft eignet sich ebenfalls als Ausgangsmaterial für weitere Selektionen, da

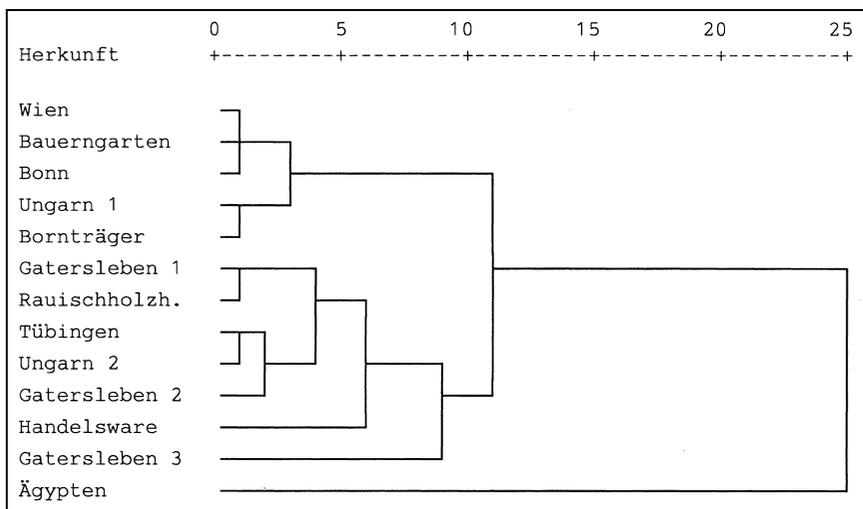


Abb. 1: Dendrogramm für die Merkmale Gamma-Linolensäure- und Erucasäuregehalte verschiedener Herkünfte von *Borago officinalis* L. (Ergebnisse der Analysen 1996 und 1997/1)

Dendrogram of the characteristics gamma-linoleic acid content and erucic acid content in various provenances of Borago officinalis L. (results of the analysis 1996 and 1997/1)

72 % der Individuen einen Erucasäuregehalt von unter 3 % aufwiesen. Zusammen mit der Herkunft Bonn und drei weiteren Herkünften bildet diese Herkunft ein drittes Cluster (s. Abb. 1). Während im ersten Halbjahr 1997 (1997/1) sowohl die Herkunft Borntträger als auch die Herkunft Bonn eine sehr geringe positive Korrelation zwischen γ -Linolensäure und Erucasäure aufwiesen, war die Korrelation zwischen diesen beiden Fettsäuren im zweiten Halbjahr 1997 (1997/2) bei beiden Herkünften sehr gering bis gering negativ korreliert (s. Tab. 3).

Im Jahr 1999 wurde auf der Basis von 708 durchgeführten Analysen die Variation ausgewählter Fettsäuren innerhalb einer Herkunft „Borntträger“ untersucht. Zur Charakterisierung des Probenmaterials sind in Abb. 2 die Häufigkeitsverteilungen der Ölsäure, der γ -Linolensäure und der Erucasäure dargestellt. Das untersuchte Material zeigt eine erhebliche Variationsbreite für γ -Linolensäure in der Spanne von 8,9 bis 38,0 % mit einem ausgeprägten Maximum von 25,0–27,5 %. Die Erucasäuregehalte dieser Herkunft variieren zwischen 0,7 und 11,9 % mit einem Häufigkeitsmaximum von 2,5–3 % (vgl. Abb. 2). Im Mittel liegt der Gehalt an γ -Linolensäure bei 25,5 % und der Erucasäuregehalt bei 2,8 % (Tab. 3). Unter Berücksichtigung der Selektionsziele entsprechen 59,6 % der Samen (Ziel: >25 % γ -Linolensäure) bzw. 30,3 % der Samen (Ziel: <2,5 % Erucasäure) dieser Forderung. Die Berechnung der Korrelationskoeffizienten nach PEARSON bringt erwartungsgemäß einen höchst signifikanten Zusammenhang ($p = 0,000$) zwischen der γ -Linolensäure bzw. Eruca-

säure auf der einen Seite und der Ölsäure auf der anderen Seite zum Ausdruck (s. Tab. 2). Ölsäure und γ -Linolensäure sind mit $r = -0,847^{***}$ hoch negativ korreliert, was mit den Untersuchungsergebnissen der Vorjahre übereinstimmt (vgl. Tab. 2). Zwischen der Ölsäure und der Erucasäure konnte dagegen mit $r = -0,200^{***}$ nur eine sehr geringe negative Korrelation festgestellt werden. Ähnlich gering ausgeprägt war die Wechselbeziehung zwischen der γ -Linolensäure und der Erucasäure, für die ein Korrelationskoeffizient von $r = +0,156^{***}$ nachgewiesen wurde (vgl. Tab. 2). Die Wechselbeziehungen, die zwischen der γ -Linolensäure bzw. Erucasäure und der Ölsäure gefunden wurden, werden mit der Substrat-Produkt-Beziehung erklärt, da Ölsäure eine gemeinsame Zwischenstufe im Biosyntheseweg der beiden anderen Fettsäuren darstellt.

Diskussion

Die berechneten Korrelationskoeffizienten für die Beziehung zwischen γ -Linolensäure und Erucasäure sind sehr unterschiedlich ausgeprägt. Betrachtet man nur die statistisch gesicherten Korrelationskoeffizienten, dann variieren diese zwischen den Versuchen und Jahren von $r = +0,156^{***}$ bis $r = -0,666^{***}$ (vgl. Tab. 2 + 3), so dass daraus keine Schlüsse für eine möglicherweise bestehende genetische Kopplung beider Fettsäuren gezogen werden können. Die Unterschiedlichkeit der berechneten Werte lässt vielmehr auf eine Beeinflussung dieser Beziehung

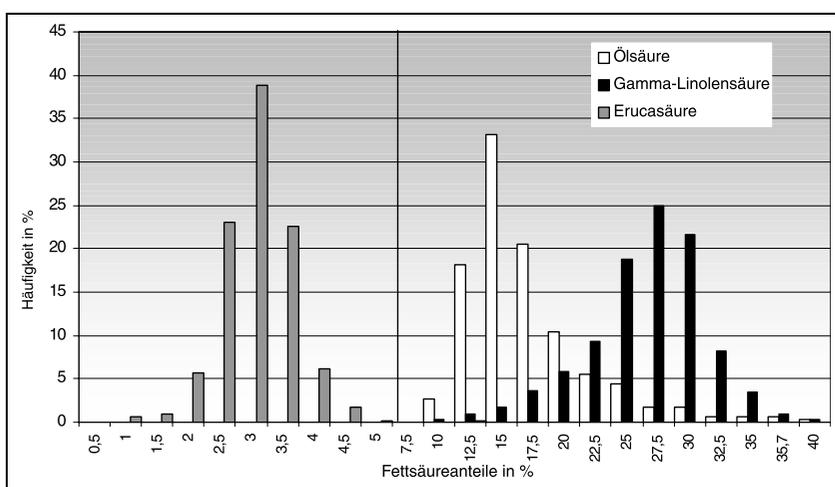


Abb. 2: Häufigkeitsverteilung (in %) von Ölsäure, γ -Linolensäure und Erucasäure innerhalb der Borretsch-Herkunft Borntträger ($n = 708$) im Jahr 1999

Distribution of frequency (in %) of oleic acid, γ -linoleic acid and erucic acid within the provenance of borage Borntträger ($n = 708$) of the cultivation period 1999

durch die Herkunft und die Anzuchtbedingungen schließen. Betrachtet man nur das Ergebnis des Jahres 1999, in dem ein sehr hoher Probenumfang ($n = 708$) innerhalb einer Herkunft analysiert wurde, dann kann der hier ermittelte Korrelationskoeffizient von $+0,156^{***}$ als repräsentativ angesehen werden. Die hier beobachtete positive Korrelation stimmt mit den Ergebnissen von GALWAY & SHIRLIN (1990) überein und lässt den Schluss zu, dass die Fettsäuren γ -Linolensäure und Erucasäure nur gering miteinander korrelieren.

Bei der Wertung dieser Beziehungen sind jedoch weitere Einflussfaktoren zu berücksichtigen. So ist bei der Beurteilung von Korrelationen zwischen Fettsäureanteilen auch der Gesamtölgehalt zu beachten, der bei der durchgeführten Halbkornmethode bzw. Fünfkornmethode jedoch nicht erfasst werden konnte. Weiterhin ist auf die Ölsäuregehalte von 16,0–21,5 % hinzuweisen. Davon ausgehend ist die Hypothese der Konkurrenz der Enzyme der beiden Synthesewege für γ -Linolensäure und Erucasäure um das gemeinsame Ausgangssubstrat Ölsäure als Erklärung für eine erwartete negative Korrelation zwischen diesen Fettsäuren nicht zwingend. Weitere Ansatzpunkte für die Beurteilung der Korrelation der beiden Fettsäuren γ -Linolensäure und Erucasäure können in der Enzymaffinität und -aktivität der Elongasen und der Desaturasen gesehen werden (SAYANOVA et al. 1999, PELLETIER & KADER 1993). Zur Diskussion stehen zum einen die kurzfristige Enzymregulation, z. B. über die Substratmenge, und zum anderen die langfristige Regulation der Enzymmenge durch Transkriptionskontrolle, d. h. durch Repression und vor allem durch Induktion der Genexpression (HELDT 1999). Häufig sind bei der Regulation der Genexpression Phytohormone als Mittler zwischen externen Faktoren, wie Temperatur, Wasser- und Nährstoffangebot und der physiologischen Antwort der Zelle zwischengeschaltet (QI et al. 1998). Weiterhin ist bekannt, dass der Ölgehalt bzw. die Anteile an γ -Linolensäure und Erucasäure von den Wachstumsbedingungen, vor allem von Klimakonstellation und Bodentyp sowie vom Erntetermin (Reifegrad der Samen) beeinflusst werden können (MARQUARD 1980, REINER & MARQUARD 1988). Zu hohe Stickstoffverfügbarkeit senkt den Ölgehalt, während humide Verhältnisse und niedrige Temperaturen, besonders zum Zeitpunkt der Reife, in der Regel den Ölgehalt und die Anteile mehrfach ungesättigter Fettsäuren erhöhen. Umweltbedingte Modifikationen des Fettsäuremusters könnten auch in den durchgeführten Herkunftsprüfungen eine Rolle gespielt haben. So ist bei Betrachtung der Ergebnisse der Herkunft Borntträger festzustellen, dass der γ -Linolensäuregehalt im Jahr 1999 (Versuchsdurchführung im ersten Halbjahr) um 6,0 % höher und der Ölsäuregehalt um 3,8 % niedriger war als im zweiten Halbjahr 1997 (1997/2). Niedrigere Lufttemperaturen während der Kultivierung im ersten Halbjahr 1999 könnten zu diesen Unterschieden beigetragen haben. Die Bedeutung des Reifegrades der Samen für die Ölbildung wurde u. a. von MARQUARD (1980) hervorgehoben. Mit zunehmendem Reifegrad ist absolut betrachtet ein Anstieg des Ölgehaltes und der γ -Linolensäure- und Erucasäureanteile zu erwarten. Es wurde weiterhin nachgewiesen, dass bei Samen mit niedrigem Ölgehalt, d. h. in einem Stadium, in dem die Fetteinlagerung noch nicht abgeschlossen ist, andere korrelative Beziehungen auftreten als bei gut ausgereiften Samen mit hohem Ölgehalt. Nach KROOS (1993) steigt der Gesamtfettsäuregehalt im Borretschsamen von $0,8 \mu\text{mol/Samen}$ 11 Tage nach der Blüte auf $12,5 \mu\text{mol/Samen}$ 31 Tage nach der Blüte an. In weiteren Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass der γ -Linolensäureanteil bereits 11 Tage nach der Blüte 21 %

des Gesamtfettsäuregehaltes erreichte, während der Anteil der langkettigen Fettsäuren Eicosan-, Eicosen- und Erucasäure zu diesem Zeitpunkt 1,5 % betrug. 31 Tage nach der Blüte enthielten die Samen 22,4 % γ -Linolensäure, während der Anteil der langkettigen Fettsäuren auf 5 % angestiegen war (KROOS 1993). Diese Beobachtungen lassen auf eine zeitliche Differenz zwischen den Aktivitätsmaxima der Desaturasen und Elongasen während der Samenreife schließen. Befunde, die diese Aussage bekräftigen, wurden auch von GALLE et al. (1993) für Borretsch und von PUYAUBERT et al. (2001) für Raps erarbeitet.

Die vorgenannten externen Faktoren können eine Ursache für die starke Variation der Ergebnisse zwischen den Versuchen bzw. Jahren wie auch innerhalb der Herkünfte sein. Besonders fällt in der Einzelbetrachtung der Provenienzen der Analyse 1997/1 die Herkunft Ägypten auf (Tab. 3). Das Öl dieser Herkunft enthält im Vergleich zu den anderen Herkünften einen mit 23,2 % sehr hohen Anteil an Ölsäure und einen mit 15,1 % sehr niedrigen Anteil an γ -Linolensäure. Neben dem Reifegrad der Samen spielen hier offenbar klimatische Bedingungen eine entscheidende Rolle, was in der Literatur mehrfach belegt ist. So wiesen CHAMPOLIVIER & MERRIEN (1996) in Sonnenblumensamen die niedrigste Delta-12-Desaturaseaktivität bei hoher Temperatur nach. Dies führt letztendlich zu einem höheren Ölsäuregehalt in Samen von Pflanzen, die unter solchen klimatischen Bedingungen wachsen. Von MARQUARD (1980) wurde außerdem für Raps bei niedriger Luftfeuchte und in geringem Umfang bei hohen Temperaturen ein Anstieg des Erucasäuregehaltes beobachtet. WILMER et al. (1998) untersuchten den Einfluss von Wachstumstemperaturen auf den Erucasäuregehalt bei aus Mikrosporen herangezogenen Raps-Embryonen. Dabei konnte gezeigt werden, dass die Akkumulation von Erucasäure über die Menge der Elongase reguliert wird. Die Elongaseaktivität im Extrakt zeigte ein Optimum bei Temperaturen über 30°C . In den vorgestellten Untersuchungen wies die Herkunft Ägypten mit 4,7 % einen sehr hohen Erucasäuregehalt auf. Bei dieser Herkunft, die aus einer semiariden bis ariden Region stammt, sind möglicherweise die hohe Lufttemperatur, die Trockenheit und die niedrige Luftfeuchte Ursachen für die von den übrigen Herkünften stark abweichende Ausprägung des Fettsäuremusters. Demgegenüber zeigte das über klonierte Pflanzen gewonnene Erntegut der Herkunft Ägypten mit einem Ölsäureanteil von 19,1 %, einem γ -Linolensäureanteil von 18,1 % und einem Erucasäuregehalt von 2,7 % ein ähnliches Fettsäuremuster wie die ebenfalls 1997/2 in Rauschholzhausen kultivierten Klone der Herkunft Bonn (vgl. Tab. 3). Diese Beobachtung lässt darauf schließen, dass das im Versuch 1997/1 festgestellte abweichende Fettsäuremuster dieser Herkunft auf einen Umwelteffekt und weniger auf eine genetische Determination zurückgeführt werden kann.

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die Vermeidung von Umweltmodifikationen für die Selektion von *Borago officinalis* L. auf hohe γ -Linolensäure- und niedrige Erucasäuregehalte sehr wichtig ist. Neben der Anzucht der Pflanzen unter gleichen Klima- und Bodenbedingungen ist auch ein gleicher Reifegrad der Samen Voraussetzung für aussagefähige Ergebnisse. Hier liegen die Grenzen der Anwendung der Halbkornmethode zur Beurteilung und Selektion von *Borago officinalis* L. und der Vorteil der Fünfkornmethode, da die Untersuchung einer Mischprobe aus fünf Samen einer Pflanze die Gefahr der Verzerrung der Ergebnisse durch einen unterschiedlichen Reifegrad der Samen verringert.

Literatur

- ANONYMUS, 1999: Deutscher Arzneimittel Codex, Govi-Verlag, Eschborn und Deutscher Apotheker-Verlag, Stuttgart.
- BAETZEL, R., 1996: Schriftliche Mitteilung.
- BANGHA, E. & U. AMON, 1999: Gammalinolensäure bei atopischer Dermatitis. *Akt. Dermatol.* **25**, 258–261.
- CHAMPOLIVIER, L. & A. MERRIEN, 1996: The effects of temperature differences during seed ripening on oil content and its fatty acid composition in two sunflower varieties (oleic and not). *Oleagineux Crops Gras Lipides* **3**, 140–144.
- GALWAY, N. W. & A. J. SHIRLIN, 1990: Selection of borage (*Borago officinalis*) as a seed crop for pharmaceutical uses. *Heredity* **65**, 249–257.
- GALLE, A. M., M. JOSEPH, C. DEMANDRE, P. GUERCHE, J. P. DUBACQ, A. OURSEL, P. MAZLIAK, G. PELLETIER & J. C. KADER, 1993: Biosynthesis of γ -Linolenic acid in developing seeds of borage (*Borago officinalis* L.). *Biochim Biophys Acta* **1158**, 52–58.
- HANELT, P., 2001: Mansfeld's Encyclopedia of Agricultural and Horticultural Crops, Band 4, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- HELDT, H. W., 1999: Pflanzenbiochemie, 2. Aufl. Spektrum-Verlag, Heidelberg, Berlin.
- JANICK, J., J. E. SIMON, J. QUINN & N. BEAUBAIRE, 1989: Borage: A Source of Gamma Linolenic Acid. *Herbs, Spices and Medicinal Plants* **4**, 145–168.
- KAUTZKY, F., L. D. KÖHLER, T. FISCHER & H. J. VOGT, 1997: Doppelblinde plazebokontrollierte Studie zur Bedeutung der topischen Anwendung mehrfach ungesättigter Fettsäuren für die Barrierefunktion der Epidermis. *Akt. Dermatol.* **23**, 105–108.
- KNIPP, G. & B. HONERMEIER, 2002: Untersuchungen zur Etablierung der Organogenese als In-vitro-Kultur bei Borretsch (*Borago officinalis* L.). *Z. Arznei- u. Gewürzpfl.* **7**, 324–328.
- KROOS, K. U., 1993: Schriftliche Mitteilung.
- MARQUARD, R. A., 1980: Der Einfluss von Standortfaktoren und spezifischen Klimakonstellationen auf Fettgehalt, Fettsäurezusammensetzung und Tokopherolgehalt von Raps, Sonnenblumen, Soja und Lein, Habilitationsschrift, Justus-Liebig-Universität Giessen.
- MELNIK, B. C. & F. A. BAHMER, 1995: Die Behandlung des atopischen Ekzems mit Glandol[®] und Epoleum[®] – eine vergleichende Studie. *Akt. Dermatol.* **21**, 215–219.
- NICHOLLS, F. H., 1997: New Crops in the UK: From Concept to Bottom Line Profits. <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1996/V3-021.html>
- PELLETIER, G. & J. C. KADER, 1993: Biosynthesis of γ -Linolenic acid in developing seeds of borage (*Borago officinalis* L.). *Biochim. Biophys. Acta* **1158**, 52–58.
- PUYAUBERT, J., B. GARABAY, P. COSTAGLIOLI, W. DIERYCK, T. J. ROSCOE, M. RENARD, C. CASSAGNE & R. LESSIRE, 2001: Acyl-CoA elongase expression during seed development in *Brassica napus*. *Biochimica et Biophysica Acta-Molecular and Cell Biology of Lipids* **1533**, 141–152.
- QI, Q. G., P. A. ROSE, G. D. ABRAHAMS, D.C. TAYLOR, S. R. ABRAHAMS & A. J. CUTTLER, 1998: (+)-abscisic acid metabolism, 3-ketoacyl-coenzyme A synthase gene expression, and very-long-chain monounsaturated fatty acid biosynthesis in *Brassica napus* embryos. *Plant Physiology* **117**, 979–987.
- REINER, H. & R. A. MARQUARD, 1988: Untersuchungen über Anbaueignung und Qualitätseigenschaften von *Oenothera biennis* L. *Fat Sci. Technol.* **90**, 136–140.
- SAYANOVA, O., P. R. SHEWRY & J. A. NAPIER, 1999: Histidine-41 of the cytochrome b(5) domain of the borage Delta(6) fatty acid desaturase is essential for enzyme activity. *Plant Physiology* **121**, 641–646.
- SCHÖPF, E., J. M. MUELLER & W. CZECH, 1997: Topische Ekzembehandlung. *Allergo J.* **6**, 86–90.
- SIMON, J. E., N. BEAUBAIRE, S. C. WELLER & J. JANICK, 1997: Borage: A source of Gamma Linolenic Acid. <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1990/V1-528.html>.
- THIES, W., 1971: Schnelle und einfache Analysen der Fettsäurezusammensetzung in einzelnen Raps-Kotyledonen. *Z. Pflanzenzüchtung* **65**, 181–202.
- THIES, W., 1976: Qualitative Gas Liquid Chromatography of Glucosinolates on a Microliter Scale. *Fette, Seifen, Anstrichmittel* **78**, 231–234.
- WILMER, J. A., R. LESSIRE, J. P. F. G. HELSPER & L. H. W. VAN DEN PLAS, 1998: Regulation of elongase activity by abscisic acid and temperature in microspore-derived embryos of oilseed rape (*Brassica napus*). *Physiologia Plantarum* **102**, 185–191.

Eingegangen am 7. Juni 2002;
angenommen am 29. Juli 2002

Anschrift der Verfasser

Dipl. oec. troph. Gabriele Knipp, Dr. Andrea Malko, Prof. Dr. Richard A. Marquard, Prof. Dr. Bernd Honermeier, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I, Justus-Liebig-Universität Giessen, Ludwigstr. 23, D-35390 Giessen