

BÖL

Bundesprogramm
Ökologischer
Landbau

Saflor als neue Ölpflanze im ökologischen Landbau - Zuchtmethodische Grundlagen und Schnellmethoden zur Qualitätsbestimmung

Safflower as a new crop in organic farming

FKZ: 03OE628/1

Projektnehmer:

Georg-August-Universität Göttingen
Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilung Pflanzenzüchtung
Von-Siebold-Straße 8, 37075 Göttingen
Tel.: +49 551 39 4381
Fax: +49 551 39 4601
E-Mail: hbecker1@gwdg.de
Internet: <http://www.uni-goettingen.de>

Autoren:

Rudolphi, S.; Becker, H.C.; von Witzke-Ehbrecht, S.

Gefördert vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau (BÖL)

Abschlussbericht

Georg-August Universität Göttingen
Department für Nutzpflanzenwissenschaften
Abteilung Pflanzenzüchtung
Von Siebold Str. 8, 37075 Göttingen

514-43.10 / 03OE628

**Saflor als neue Ölpflanze im ökologischen Landbau
Zuchtmethodische Grundlagen und Schnellmethoden zur
Qualitätsbestimmung**

Laufzeit: 01.04.2004 - 31.03.2007

Berichtszeitraum: 01.04.2004 - 31.03.2007

Zusammenarbeit mit anderen Stellen:

Universität Hohenheim
Institut für Pflanzenbau und Grünland (340)
Prof. Dr. W. Claupein
Fruwithstr. 23
70593 Stuttgart

VERN e.V.
R. Vögel
Burgstr. 20,
16278 Greiffenberg

Getreidezüchtungsforschung Darzau
Dr. K.-J. Müller
Darzau Hof 1
29490 Neu Dachau

Inhaltsverzeichnis

1. Ziele und Aufgabenstellung des Projektes	2
1.1. Planung und Ablauf des Projektes	2
1.1.1. Teilprojekt 1: Entwicklung von Schnellmethoden zur züchterischen Beurteilung von Qualitätseigenschaften	2
1.1.2. Teilprojekt 2: Vergleich verschiedener Ausleseverfahren.....	2
1.2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	4
2. Material, Standorte und Methoden	5
2.1. Material	5
2.1.1. Teilprojekt 1: Entwicklung von Schnellmethoden zur züchterischen Beurteilung von Qualitätseigenschaften	5
2.1.2. Teilprojekt 2: Vergleich verschiedener Ausleseverfahren.....	5
2.2. Standorte	7
2.3. Methoden	8
2.3.1. Teilprojekt 1: Entwicklung von Schnellmethoden zur züchterischen Beurteilung von Qualitätseigenschaften	8
2.3.2. Teilprojekt 2: Vergleich verschiedener Ausleseverfahren.....	9
2.3.3. Untersuchungen zur Fremdbefruchtung.....	14
3. Ergebnisse	14
3.1. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse.....	14
3.1.1. Teilprojekt 1: Entwicklung von Schnellmethoden zur züchterischen Beurteilung von Qualitätseigenschaften	14
3.1.2. Teilprojekt 2: Vergleich verschiedener Ausleseverfahren.....	18
3.1.3. Untersuchungen zur Fremdbefruchtung.....	31
3.2. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse; Möglichkeiten der Umsetzung oder Anwendung der Ergebnisse für eine Ausdehnung des ökologischen Landbaus.....	31
4. Zusammenfassung	32
5. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; Hinweise auf weiterführende Fragestellungen.....	34
5.1.1. Teilprojekt 1: Entwicklung von Schnellmethoden zur züchterischen Beurteilung von Qualitätseigenschaften	34
5.1.2. Teilprojekt 2: Vergleich verschiedener Ausleseverfahren.....	34
6. Literaturverzeichnis	36

Ziele und Aufgabenstellung des Projektes

1.1. Planung und Ablauf des Projektes

Ziel des Projektes war die Erarbeitung der methodischen Züchtungsgrundlagen von Saflor für den ökologischen Landbau. Das Projekt war in zwei Teilprojekte gegliedert. Es sollten drei verschiedene Züchtungsmethoden untersucht werden (Teilprojekt 2): Stammbaummethode, die natürliche Selektion (Ramschmethode) und die Einkornramschmethode. Parallel hierzu sollte eine Schnellmethode entwickelt werden, um wertbestimmende Inhaltsstoffe erfassen zu können (Teilprojekt 1).

1.1.1. Teilprojekt 1: Entwicklung von Schnellmethoden zur züchterischen Beurteilung von Qualitätseigenschaften

Um Qualitätsmerkmale wie den Ölgehalt, das Fettsäuremuster und den Schalenanteil züchterisch zu verbessern, ist eine Methode erforderlich, mit der eine große Anzahl von Genotypen einfach und kostengünstig analysiert werden kann. Hierzu wurde die Nah-Infrarot-Reflexions Spektroskopie (NIRS) gewählt. Es sollten Kalibrationen zur Bestimmung von Ölgehalt, Linolsäure- und Ölsäuregehalt und Schalenanteil mit Hilfe von NIRS entwickelt werden.

Mindestens 100 Achänenproben verschiedener Genotypen sollten mittels NIRS gemessen werden und mit der entsprechenden Referenzanalytik (Soxhlet-Ölextraktion, Gaschromatographie und Samenschalen abtrennen nach Anquellen) untersucht werden. Zunächst sollten Proben gemessen werden, die im Projekt 02OE434 (Vergleich der Anbaueignung verschiedener Ölpflanzenarten und –sorten für den ökologischen Landbau unter den Aspekten Speiseölgewinnung und Eiweißquelle) an den Standorten Göttingen und Stuttgart-Hohenheim geerntet wurden und zu denen bereits Referenzwerte vorhanden waren. Es sollten Kalibrationen für gemahlene und intakte Achänen entwickelt werden.

Diese Kalibrationen sollten im Winter 2004/05 an mindestens 50 zusätzlichen Proben auf ihre Zulässigkeit untersucht werden und anschließend für die Selektion auf höheren Ölgehalt eingesetzt werden. Im Winter 2005/06 sollten die Kalibrationen für eine zweite Selektion genutzt werden.

1.1.2. Teilprojekt 2: Vergleich verschiedener Ausleseverfahren

Im Vorfeld wurden im Jahr 2002 Kreuzungen durchgeführt, deren Nachkommen 2003 auf dem Feld angebaut wurden. Jeweils 50 F2-Pflanzen von drei Kreuzungen wuchsen im Winter 2003/04 in Göttingen im Gewächshaus.

Stammbaummethode

Im Jahr 2004 sollten jeweils 50 F3-Linien von drei Kreuzungen in zwei Meter langen Doppelreihen in Göttingen ausgesät werden. Eine Selektion sollte auf Krankheiten im Feld erfolgen. Anschließend sollte mittels NIRS (vgl. Teilprojekt 1) das Erntegut auf Ölgehalt selektiert werden. Im Jahr 2005 sollten 360 F4-Linien ausgesät werden und erneut auf Krankheitsresistenz im Feldanbau und auf Ölgehalt am Erntegut selektiert werden.

Für 2006 war ein vergleichender Anbau an vier Standorten vorgesehen. An zwei Standorten (Göttingen und Hohenheim) sollten alle drei Kreuzungen bearbeitet werden, an zwei Standorten (Wilmersdorf und Darzau) nur zwei Kreuzungen. Die besten 30 F5-Linien pro Kreuzung, selektiert auf Krankheitstoleranz und Ölgehalt, sollten in zweifacher Wiederholung geprüft werden.

Natürliche Selektion

Das Erntegut der 50 F2-Pflanzen pro Kreuzung sollte zu gleichen Teilen gemischt werden, im Jahr 2004 in Parzellen an drei unterschiedlichen Standorten (Göttingen, Hohenheim, Wilmersdorf) ausgesät und der natürlichen Selektion ausgesetzt werden. Eine Stichprobe des Erntegutes sollte 2005 erneut an den Standorten ausgesät werden und einer zweiten Generation natürlicher Selektion unterliegen. In 2006 sollten die neun Prüfglieder zusammen mit den vier Eltern-Prüfgliedern in zweifacher Wiederholung an vier Standorten (zusätzlich Darzau) geprüft werden.

Einkornramsch

Je eine Achäne der 150 Einzelpflanzen aus drei Kreuzungen sollte bis zur F5 im Gewächshaus weitergeführt werden. Im Winter 2005/06 sollten jeweils zwei F6-Einzelpflanzen angezogen werden. Die 150 F7-Prüfglieder sollten als Reihen am Standort Göttingen und Hohenheim zusammen mit den vier Eltern angebaut werden. Das Saatgut der zusätzlichen Pflanzen sollte zu gleichen Teilen gemischt werden und 2006 an vier Standorten (Göttingen, Hohenheim, Wilmersdorf und Darzau) ausgesät werden.

Mit dem Vorhaben sollten folgende Ziele des Bundesprogramms Ökologischer Landbau unterstützt werden:

- Einführung neuer Arten bei Ölpflanzen zur Auflockerung der Fruchtfolge,
- Verbreiterung des Kulturpflanzenspektrums
- Züchterische Weiterentwicklung wenig bearbeiteter Fruchtarten im Hinblick auf die Bedürfnisse des Verbrauchers,
- Weiterentwicklung der Methoden der klassischen Züchtung („Pre-Breeding“).

1.2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Der Ursprung von Saflor (*Carthamus tinctorius* L.), einer der ältesten Kulturpflanzen der Welt, wird im vorderen Orient angenommen. Saflor stammt vermutlich von der Wildart *Carthamus oxyacanthus* Bieb. oder *C. persicus* Willd. ab (Knowles 1976; Dajue und Mündel 1996). *C. oxyacanthus* ist ein weit verbreitetes Unkraut in Pakistan und im nordwestlichen Indien, *C. persicus* ist ein in Syrien, Libanon und Türkei verbreitetes Unkraut.

Saflor wird als Selbstbefruchter eingestuft mit Auskreuzungsrate unter 10% (Knowles 1969), aber in Abhängigkeit von Umweltbedingungen kann Fremdbefruchtung von mehr als 50 % vorkommen.

Als Selektionsverfahren wird nach Knowles (1989) die Stammbaummethode für die Selektion auf hoch heritable Merkmale (z.B. Frühreife, Krankheitsresistenz) verwendet. Ergebnisse der Nutzung der Einkornramschmethode liegen aus Spanien vor (Fernandez-Martinez et al. 1986). Die „Natürliche Auslesemethode“ wurde seit den 60er Jahren in den USA für die Selektion auf Krankheitsresistenz verwendet und führte dort zur Zulassung von gesünderen Sorten (Bergmann 1985, 1987, 1989).

Die Färberdistel, wie Saflor auch genannt wird, wurde zunächst als Färberpflanze und als preiswerter Ersatz für Safran genutzt, darauf deuten Namen wie „falscher Safran, Bastard-Safran, Distel-Safran und Färber-Safran“ hin. Im ausgehenden Mittelalter ist auch in unserem Kulturraum der Anbau als Färberpflanze vor allem in Süddeutschland und im Thüringer Becken beschrieben. Der Anbau von Saflor ging mit dem Aufschwung der chemischen Farbstoffindustrie und der Einführung lichtbeständiger Anilinfarben Ende des 19. Jahrhunderts drastisch zurück. Neues Interesse gewann Saflor als Scheibe (1939) Herkünfte aus der Hindukusch Expedition unter mitteleuropäischen Klimabedingungen prüfte; anbauwürdige Herkünfte fand er allerdings nur unter denjenigen Akzessionen aus europäischen Genbanken.

Die Hauptnutzung von Saflor dient heute der Ölgewinnung. Saflor zählt weltweit gesehen zu den „minor oilcrops“. Die Weltproduktion an Saflor Samen schwankte im Zeitraum zwischen 1960 und 1990 zwischen 500 Tausend bis 1 Million Tonnen (Weiss 2000). Im Jahr 2002 wurden etwa 640 000 t produziert. Die Hauptanbauggebiete sind Indien (226 000 t), Mexico (97 000 t), USA (135 000 t), Äthiopien (38 000 t), Kazastan (38 000 t), China (32 000 t), Australien (29 000 t), Argentinien (26 000 t) und Uzbekistan (10 500 t); Russische Föderation mit 5 500 t und Spanien mit nur 250 t (<http://www.fao.org>).

Neben einer geringeren Nutzung von Hochölsäuretypen für technische Anwendungen hat die Verwendung von Distelöl als Speiseöl die größte Bedeutung, da es ernährungsphysiologisch als besonders wertvoll beurteilt wird mit bis zu 90 % ungesättigte Fettsäuren, vor allem Linolsäure (Geisler 1991).

Eine sehr große Variation im Linol- bzw. Ölsäuregehalt im Samenöl, von 3,9 bis 88,8 bzw. 3,1 bis 90,6 %, bestimmten Fernandez-Martinez et al. (1993) in einem Sortiment von zweihundert Akzessionen des USDA. Diese Kollektion mit inzwischen 2300 Mustern wurde von Knowles begründet und geht auf seine Sammlungen in den sechziger und siebziger Jahren zurück. Eintausend Saflorherkünfte dieser Kollektion wurden von Johnson et al. (1999) auf Öl – und Samenmehl-Qualitätsmerkmale untersucht.

Nur auf etwa 2% der ökologisch bewirtschafteten Fläche werden in Deutschland Ölpflanzen kultiviert (SÖL 2003). Es existiert eine Nachfrage nach ökologisch erzeugtem Pflanzenöl. Der Färberdistelanbau ist auch unter den eher humiden Klimabedingungen Deutschlands möglich (Reinbrecht et al. 2003). Bisher wurde in Deutschland jedoch fast keine Saflorzüchtung durchgeführt. Zuletzt beschäftigte sich Scheibe mit der Züchtung von Saflor in den 1930er Jahren (Scheibe und Yekta 1934, Scheibe 1939). Die Untersuchungen wurden später jedoch nicht weiter verfolgt. Der niedrige Ölgehalt und die hohe Krankheitsanfälligkeit der Pflanze stellen ein vorrangiges Problem dar.

Viele wertbestimmende Inhaltsstoffe, vor allem der Ölgehalt, sind mit chemischen Methoden nur aufwändig zu bestimmen. Bei Raps und anderen Ölpflanzen hat sich eine Schnellbestimmung mit Hilfe der Nah-Infrarot-Reflektions-Spektroskopie (NIRS) als sehr zuverlässig erwiesen (Velasco et al. 1998, Velasco et al. 1999). Auch bei Sonnenblume kann die Samenqualität, insbesondere von Hochölsäure Sorten, mittels NIRS erfasst werden (Biskupek-Korell et al. 2007).

2. Material, Standorte und Methoden

2.1. Material

2.1.1. Teilprojekt 1: Entwicklung von Schnellmethoden zur züchterischen Beurteilung von Qualitätseigenschaften

Die Kalibrationen wurden anhand von gemahlene und intakten Proben des Teilprojektes 2 aus den Jahren 2004 bis 2006 von den Standorten Göttingen, Hohenheim, Wilmersdorf und Darzau entwickelt. Zusätzlich wurden Proben aus den Jahren 2002 und 2003 aus Göttingen und Hohenheim herangezogen.

2.1.2. Teilprojekt 2: Vergleich verschiedener Ausleseverfahren

Es wurden drei Kreuzungen untersucht, an denen vier Eltern beteiligt waren. An das europäische Klima angepasste Genotypen wurden mit kanadischen Genotypen mit hohem Ölgehalt gekreuzt:

- AC Sunset x CR1 (Kreuzung 1)
- Saffire x CR1 (Kreuzung 2)
- Sabina x AC Sunset (Kreuzung 3)

Die Sorte „Sabina“ wurde von der Norddeutschen Pflanzenzucht Hans-Georg-Lembke KG, Hohenlieth, 1997 zugelassen. Der Ursprungszüchter ist das Research Institute for Fodder Crops Ltd. in Troubsko (Tschechien) (<http://www.vupt.cz>). Die Sorte wurde aus stachellosen Genotypen österreichischer und tschechischer Genbanken selektiert und ist an die klimatischen Bedingungen in Deutschland gut angepasst. Sie erzielt hohe Kornerträge, ihr Ölgehalt ist jedoch mit 25% gering (Reinbrecht et al. 2004).

In einer Parzelle der Sorte Sabina wurde von Dr. C. Reinbrecht, Universität Hohenheim, ein weiterer Genotyp gefunden, im Folgenden „CR1“ genannt. Phänotypisch ähnelt er der Sorte Sabina, ist jedoch bestachelt. Dieser Genotyp ist ebenfalls als Kreuzungselter verwendet worden.

Zwei kanadische Sorten, beide gezüchtet an der Agriculture Canada Research Station, Lethbridge, Alberta, wurden als weitere Eltern gewählt. Die Sorte „Saffire“ ist für die Anbauregion Südkanada entwickelt worden. Sie kombiniert eine frühe Abreife mit einem hohen Samenertrag, einem hohen Ölgehalt und einer guten Resistenz gegen *Sclerotinia sclerotiorum*. Mündel et al. 2004 berichteten jedoch von einer Anfälligkeit gegen *Alternaria carthami*, dem Erreger der Alternaria-Blattflecken. Bei Studien in der Schweiz zeigte sich die Sorte Saffire als anfällig für den Erreger *Botrytis cinerea* (Köpfchenfäule) (Frick und Hebeisen 2005). Es wird ein durchschnittlicher Ölgehalt von 31,8% angegeben (Mündel et al. 1985 a, b; Mündel und Braun 1999).

Die zweite kanadische Sorte „AC Sunset“ erzielt einen noch höheren Ölgehalt (34%) und eine gute Resistenz gegen *Sclerotinia sclerotiorum*. Sie wird jedoch als anfällig für Alternaria-Blattflecken und *Puccinia carthami*, den Erreger für Rostbefall, beschrieben (Mündel 1996). Bei Frick und Hebeisen (2005) war AC Sunset sehr anfällig für *Botrytis cinerea* (Köpfchenfäule).

Die Kreuzungen wurden im Sommer 2002 an der Universität Hohenheim von Dr. C. Reinbrecht im Feld nach der Methode von Dajue und Mündel (1996) durchgeführt. Bei dieser Methode werden gut entwickelte Köpfchen kurz vor der Blüte mit einem Plastikbeutel bedeckt. Die Temperatur und Feuchtigkeit, die in dem Beutel entsteht, verhindert das Aufplatzen der Antheren. Sind die Köpfchen zur Hälfte aufgeblüht, wird morgens der Beutel entfernt, die Blüten werden mit dem Pollen des Kreuzungselters bestäubt und der Beutel wird wieder geschlossen. Dieser Vorgang wird drei Tage hintereinander wiederholt, um möglichst hohen Samenansatz zu erhalten. Zum Ende der Blüte ersetzt eine Papiertüte den Plastikbeutel, damit sich weniger Feuchtigkeit ansammelt und die Anfälligkeit für Krankheiten reduziert wird.

Die F1-Pflanzen wurden im Frühjahr 2003 auf dem Feld angebaut und geselbstet. Im Herbst 2003 wurden 50 F2-Pflanzen jeder Kreuzungskombination im Gewächshaus ausgesät und geerntet. Anhand von morphologischen Merkmalen wie Blütenfarbe, Pflanzenlänge und Blühzeitpunkt wurde überprüft, dass es sich um spaltende F2-Populationen handelte.

2.2. Standorte

Die Freilandversuche wurden 2004, 2005 und 2006 auf ökologisch bewirtschafteten Flächen in Göttingen (südliches Niedersachsen), Hohenheim bei Stuttgart (Baden-Württemberg) und Wilmersdorf bei Angermünde (Brandenburg) angebaut. Für 2006 wurde als zusätzlicher Standort Darzau (nordöstliches Niedersachsen) gewählt.

Das Kloostergut Reinshof der Universität Göttingen befindet sich 150 m ü. NN. Der Boden besteht aus etwa 80% Auenböden (Lehme bis tonige Lehme) aus Schwemmlöß und 20% Grieserden aus Löß mit einer durchschnittlichen Ackerzahl von 83 BP. Der langjährige Durchschnitt der Niederschläge beträgt 645 mm, der der Jahrestemperatur 8,7 °C.

Das Versuchsgut Kleinhohenheim der Universität Hohenheim liegt 435 m ü. NN. Der Lehm-, teilweise Lößlehm Boden mit einer Bodenzahl von 47-65 BP ist relativ inhomogen. Bei einer mittleren Jahrestemperatur von 8,5 °C fallen durchschnittlich 700 mm Niederschlag im Jahr.

In Wilmersdorf (50 m ü. NN) wurden die Versuche vom VERN e.V. (Verein zur Erhaltung und Rekultivierung von Nutzpflanzen in Brandenburg) betreut. Es handelt sich dort um sandig-lehmige Braunerden mit 25-55 BP. Der langjährige Jahresniederschlag beträgt 486 mm, die durchschnittliche Jahrestemperatur liegt bei 8,4 °C (Daten vom nahegelegenen Leibniz-Zentrum für Agrarlandforschung, Dedelow).

Das Gut Darzau (Getreidezüchtungsforchung Darzau) liegt auf einer Höhe von 60 m ü. NN. Die Bodenzahlen der Parabraunerde liegen bei 35 BP. Es fallen im langjährigen Mittel 600 mm Niederschlag bei einer Jahresdurchschnittstemperatur von 8,9 °C.

Die durchschnittliche Monatstemperatur und die Summe der monatlichen Niederschläge der einzelnen Orte in den Vegetationsperioden 2004 bis 2006 sind der Tabelle 1 und der Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 1: Durchschnittliche Monatstemperatur (°C) über die Vegetationsperioden 2004 bis 2006 an den vier Standorten

Monat	2004			2005			2006			
	Gö	Ho	Wi	Gö	Ho	Wi	Gö	Ho	Wi	Da
März	4,5	4,7	4,2	4,6	4,8	1,6	2,2	3,0	0,0	0,2
April	9,1	10,2	8,5	9,3	10,2	8,1	7,8	9,0	8,1	7,3
Mai	11,0	12,0	11,6	12,2	13,8	12,4	12,5	13,9	12,6	12,9
Juni	14,9	16,2	14,3	15,1	18,2	15,2	16,3	17,6	17,0	16,4
Juli	16,1	18,2	16,3	17,9	18,4	18,5	21,7	22,4	21,9	21,8
Aug.	18,5	19,0	18,4	18,5	16,2	16,0	18,0	15,2	16,9	17,0
Sept.	13,9	15,1	13,6	15,1	15,7	15,0	16,6	18,0	16,6	17,6
Mittelwert	12,6	13,6	12,4	13,2	13,9	12,4	13,6	14,2	13,3	13,3

Gö: Göttingen, Ho: Hohenheim, Wi: Wilmersdorf, Da: Darzau

Tabelle 2: Summe der monatlichen Niederschläge (mm) über die Vegetationsperioden 2004 bis 2006 an den vier Standorten

Monat	2004			2005			2006			
	Gö	Ho	Wi	Gö	Ho	Wi	Gö	Ho	Wi	Da
März	27	37	30	27	52	15	63	80	30	63
April	33	26	27	34	61	10	58	97	27	59
Mai	88	73	43	83	86	72	97	68	43	50
Juni	63	50	37	50	48	21	95	91	47	25
Juli	93	62	29	70	127	78	83	63	29	23
Aug.	85	86	104	63	128	44	101	172	104	92
Sept.	48	47	25	35	36	34	13	35	25	16
Summe	437	381	295	362	538	274	510	607	305	329

Gö: Göttingen, Ho: Hohenheim, Wi: Wilmersdorf, Da: Darzau

2.3. Methoden

2.3.1. Teilprojekt 1: Entwicklung von Schnellmethoden zur züchterischen Beurteilung von Qualitätseigenschaften

Kalibration für Ölgehalt

Um den Ölgehalt anhand gemahlener und ungemahlener Achänen zu schätzen, wurde 2004 je eine Kalibration entwickelt (Kalibration Ölgehalt 1) und in den Jahren 2005 (Kalibration Ölgehalt 2) und 2006 (Kalibration Ölgehalt 3) erweitert. Die Kalibrationen für intakte Achänen wurden für die Selektion verschiedener Genotypen eingesetzt (vergleiche Teilprojekt 2).

Für die Kalibrationen Ölgehalt 1 wurde zunächst das Erntegut von 1060 Einzelpflanzen aus Göttingen und das Erntegut von je drei Parzellen aus Göttingen, Hohenheim und Wilmersdorf mit dem NIRS-Gerät gemessen. Anhand der Spektren wurden mit der WinISI-Software 108 Proben so ausgewählt, dass eine möglichst große Variation entstand (Shenk und Westerhaus 1991). In 2005 und 2006 wurde der Ölgehalt von 300 und 950 Proben mit Hilfe der jeweils schon vorhandenen Kalibration geschätzt. Anhand dieser Werte wurden Proben herausgesucht, die sich besonders gut im Ölgehalt unterschieden und von verschiedenen Orten stammten (in 2005: Göttingen, Hohenheim und Wilmersdorf, 2006: zusätzlich Darzau). Außerdem wurden die Kalibrationen 2005 durch Proben aus Anbauversuchen 2002 und 2003 aus Göttingen und Hohenheim ergänzt.

In die Kalibrationsgleichungen wurden insgesamt 108 (Ölgehalt 1), 463 (Ölgehalt 2) und 571 (Ölgehalt 3) Proben einbezogen. Die Referenzwerte wurden mit der Soxhlet-Methode bestimmt.

Kalibration für Linolsäure- und Ölsäuregehalt

Mit Hilfe der WinISI-Software wurden die Proben ausgewählt, die eine größtmögliche Variation in den Spektren zeigten. Insgesamt wurden die Kalibrationen für intakte Achänen und Mehl auf der Grundlage von 534 Proben aus den Jahren 2003-2006 von den vier oben genannten Standorten entwickelt.

Die Proben wurden mit der Gaschromatographie untersucht, um die Referenzwerte zu erhalten.

Kalibration für Schalenanteil

Für die Entwicklung der Kalibrationen wurden Proben mit einer großen Variation im Ölgehalt aus Göttingen ausgewählt, da ein Zusammenhang zwischen dem Ölgehalt und dem Schalenanteil anzunehmen war. Die Kalibrationen für intakte Samen und Mehl beruhten auf 40 Proben aus dem Jahr 2004, 10 Proben aus dem Jahr 2005 und 108 Proben aus dem Jahr 2006, also insgesamt auf 158 Proben.

Zur Ermittlung der Referenzwerte wurden die Samenproben in Wasser gelegt und anschließend die Schalen abgetrennt. Aus der Differenz zwischen dem Gewicht der gesamten Achänen und dem der Schalen wurde der Schalenanteil berechnet.

2.3.2. Teilprojekt 2: Vergleich verschiedener Ausleseverfahren

Stammbaummethode

In den ersten beiden Jahren fand eine Auslese von Linien in Göttingen statt. Die vergleichende Prüfung dieser Linien wurde in 2006 an vier Standorten durchgeführt.

In 2004 wurden pro Kreuzung 50 F3-Pflanzen in ein Meter langen Doppelreihen in Göttingen angebaut. Pro Doppelreihe wurden 20 Achänen am 7. April 2004 ausgesät. Die Ernte fand vom 13. bis 15. September statt. Die Vorfrucht war Winterweizen mit der Zwischenfrucht Senf. Folgende Merkmale wurden auf dem Feld erfasst:

- Blühbeginn (numerischer Tag bei 5% blühenden Pflanzen)
- Blühende (numerischer Tag bei 75% abgeblühter Pflanzen)
- Reifezeitpunkt (numerischer Tag bei 75% reifen Pflanzen)
- Pflanzenlänge zu Blühbeginn (cm)
- Lager (1: kein Lager, 9: starkes Lager)
- Köpfchenfäule (1: kein Befall, 9: sehr starker Befall)
- Alternaria-Blattflecken (1: kein Befall, 9: sehr starker Befall).

Anhand dieser Daten über Standfestigkeit und Krankheitsbefall wurde eine erste Selektion vor der Ernte durchgeführt. Insgesamt wurden 35 F3-Linien in der ersten, 34 in der zweiten und 40 in der dritten Kreuzung einzelpflanzenweise geerntet. Pro F3-Linie wurden zehn F3-Pflanzen zufällig ausgewählt.

Die Ernteproben wurden als intakte Achänen anschließend mit der NIRS-Kalibration Ölgehalt 1 auf ihren Ölgehalt untersucht. Zunächst wurde der Ölgehalt aller Einzelpflanzen bestimmt und anschließend der Durchschnitt des Ölgehaltes pro Linie errechnet. In den besten 14 F3-Linien pro Kreuzung wurden sieben Einzelpflanzen zufällig für den Anbau in 2005 ausgewählt. Diese sieben Einzelpflanzen stammten von einer F2-Pflanze ab und bildeten zusammen eine F2:4-Familie.

In 2005 wurden je 40 Achänen in 98 ein Meter langen Doppelreihen pro Kreuzung am 18. April ausgesät. Die Vorfrucht war Sommerweizen mit einer Blanksaat Rotklee gras. Um Auskreuzung zwischen den Kreuzungen zu verhindern, wurden Ränder zwischen den einzelnen Kreuzungen angebaut. Die Ränder bestanden jeweils aus einer Mischung von Pflanzen der gleichen Kreuzung, an die der Rand angrenzte.

Es wurden die gleichen Merkmale wie 2004 bonitiert. Vor der Ernte (12. bis 14. September) fand jedoch keine Selektion statt. Um genügend Saatgut für die Parzellenaussaat 2006 an vier Standorten zu gewinnen, wurden jeweils alle Einzelpflanzen einer Doppelreihe zusammen geerntet. Da in manchen Doppelreihen keine Pflanzen aufgelaufen waren, wurden 91 (Kreuzung 1), 97 (Kreuzung 2) und 72 (Kreuzung 3) F4-Linien geerntet. Mittels NIRS wurde anhand der Kalibration Ölgehalt 2 der Ölgehalt des Erntegutes bestimmt.

Die Selektion der besten F4-Linien erfolgte auf der Grundlage von Krankheitsbefall (Alternaria-Blattflecken und Köpfchenfäule) und Ölgehalt. Es wurden pro Kreuzung sieben F2:4 Familien ausgewählt, die in zwei der drei Merkmalen über dem Durchschnitt lagen. Innerhalb dieser F2:4-Familien wurden die vier besten F4-Linien nach ihrem Ölgehalt ausgewählt. In den Kreuzungen 1 und 2 wurde je eine F4-Linie zusätzlich und in der Kreuzung 3 eine F4-Linie weniger ausgewählt.

In 2006 fand die vergleichende Prüfung der Linien an vier Standorten statt. In den Kreuzungen 1 und 2 wurden je 29 F5-Linien angebaut und in der Kreuzung 3 waren es 27 F5-Linien.

Da 2005 sehr unterschiedlicher Aufgang beobachtet worden war, wurde vor der Aussaat im Frühjahr 2006 von jedem Prüfglied die Keimfähigkeit und das TKG (Tausendkorngewicht, errechnet aus dem Gewicht von zwei mal 100 Achänen) bestimmt und die Aussaatmenge jeder Parzelle auf 40 keimfähige Achänen pro Quadratmeter errechnet.

Die Kreuzungen 1 und 2 wurden an den oben genannten vier Standorten in einem 8x8 Gitter mit zwei Wiederholungen geprüft. Zusätzlich wurden in die Versuchsanlage die beiden Eltern der jeweiligen Kreuzung und pro Kreuzung eine Kontrolle integriert. Die Kreuzung 3 wurde in einem 5x6 Gitter mit zwei Wiederholungen an nur zwei Standorten (Göttingen und Hohenheim) ebenfalls zusammen mit einer Kontrolle und den beiden Eltern (Sabina und AC Sunset) angebaut.

Die Kontrolle bestand aus einer Mischung von unselektierten F7-Pflanzen aus dem Gewächshaus. Die 50 F2-Pflanzen pro Kreuzung wurden im Gewächshaus bis zur F6 weitergeführt (Einkornramschmethode). Je vier Achänen jeder der 50 F6-Pflanzen pro Kreuzung wurden abgezählt und gemischt, sodass für jede Kreuzung eine unselektierte Kontrolle entstand.

Die auf dem Feld erfassten Merkmale waren die gleichen wie 2004. Alternaria-Blattflecken traten nur in Göttingen und Hohenheim differenziert auf. Zusätzlich wurde Fusarium beobachtet. Nach der Ernte wurden folgende Merkmale untersucht:

- Ölgehalt (%), mittels NIRS-Kalibration Ölgehalt 3
- bereinigter Einzelpflanzenenertrag (g), siehe unten
- TKG (g), wie 2004
- Linolsäure- und Ölsäurehalt (%), mittels NIRS
- Schalenanteil (%), mittels NIRS

Der Feldaufgang fiel sehr unterschiedlich aus, sodass der Ertrag der Parzellen untereinander nicht vergleichbar war. Es wurde eine Abhängigkeit des Einzelpflanzenenertrages von der Anzahl Pflanzen in einer Parzelle festgestellt. Deshalb wurde als Maßstab für den Ertrag der bereinigte Einzelpflanzenenertrag (im folgenden EP-Ertrag genannt) gewählt. Zunächst fand die Berechnung einer Regression zwischen der Anzahl Pflanzen und dem Einzelpflanzenenertrag statt. Anschließend wurde für jeden Standort der bereinigte Einzelpflanzenenertrag berechnet, der von der Anzahl Pflanzen in einer Parzelle unabhängig ist.

Die Parzellengröße betrug in Göttingen und Hohenheim jeweils 4,2 m² und in Wilmersdorf und Darzau 5,04 m². Ausgesät wurde in Göttingen und Hohenheim am 20. April, in Wilmersdorf und Darzau am 21. April. Die Ernte fand am 5. September in Göttingen, am 6. September in Hohenheim und Wilmersdorf und am 24. August in Darzau statt. In Hohenheim wurden aufgrund von schlechtem Feldaufgang nur fünf gut entwickelte Pflanzen pro Parzelle geerntet.

Als Vorfrüchte wurden in Göttingen Erbsen, in Wilmersdorf Lupinen angebaut und in Hohenheim wuchs im Vorjahr Hafer, in Darzau Winterweizen.

Die Standorte wurden einzeln mit dem Programm PLABSTAT (Version 2N(L), 1997) als Gitteranlage verrechnet (Utz 2001). Anschließend wurden die ermittelten Prüfgliedmittelwerte weiteren Varianzanalysen über die Standorte unterzogen. Für die Daten der 29 Linien (27 in Kreuzung 3) plus beiden Eltern und Kontrolle, für die Daten der 29 Linien (27 in Kreuzung 3) und beiden Eltern, für die Daten der 29 (27) Linien plus Kontrolle, für die Daten der 29 (27) Linien, für die Daten beider Eltern und Kontrolle und für die Daten der beiden Eltern wurden Varianzanalysen durchgeführt.

Anhand dieser Ergebnisse wurde getestet, ob es signifikante Unterschiede zwischen den Linien und dem Mittel der beiden Eltern plus der Kontrolle (L vs (K+2E)), zwischen der Kontrolle und dem Mittel der beiden Eltern (K vs 2E), zwischen den beiden Eltern (E1 vs E2) und zwischen den 29 (27) Linien (L) gab. Zusätzliche Untersuchungen galten den Genotyp-Umweltinteraktionen (GxO). Im F-Test wurde gegen die Interaktion getestet.

Natürliche Selektion

Für die natürliche Selektion wurden 2004 pro Kreuzung von jeder der 50 F2-Pflanzen, die auch Grundlage der Stammbaummethode waren, sieben Achänen gemischt. Jede Kreuzung wurde an drei Standorten für den ersten Zyklus der natürlichen Auslese angebaut.

Für eine weitere Generation natürlicher Auslese wurde 2005 eine Stichprobe des Erntegutes jeden Ortes (Herkunftsort) aus 2004 an demselben Standort als F4-Parzelle erneut angebaut. Um einen gleichmäßigen Aufgang zu erhalten, wurde die Keimfähigkeit getestet und anschließend die Aussaatmenge für jede Parzelle einzeln berechnet. Um Auskreuzung zwischen den Parzellen zu verhindern, waren in Göttingen und Hohenheim die Parzellen in isolierten Lagen angelegt. In Wilmersdorf konnte dies aus technischen Gründen nicht geschehen. Die Aussaat- und Erntetermine, sowie die Aussaatstärke, Parzellengröße und Vorfrucht sind der Tabelle 3 zu entnehmen. In Hohenheim gab es in den Parzellen der Kreuzung 1 und 3 Fraßschäden von Hasen, sodass dort weniger Saatgut geerntet wurde. Die Keimfähigkeit des Erntegutes wurde wie in 2004 bestimmt.

Tabelle 3: Aussaatparameter, Erntetermin und Vorfrucht der Versuchsstandorte

	Aussaat-termin	Aussaatdichte (Achänen/m²)	Parzellen-größe (m²)	Ernte-termin	Vorfrucht ^a
2004					
Göttingen	30.03.04	35	10,0	15.09.04	WW
Hohenheim	30.03.04	35	10,0	07.09.04	Dinkel
Wilmersdorf	01.04.04	35	10,0	20.09.04	Kleegras
2005					
Göttingen	18.04.05	40		14.09.05	Triticale (Kr. 1) WR (Kr. 3) WR (Kr. 3)
			18,0		
Hohenheim	14.04.05	40		13.09.05	Mais (Kr. 1) Kleegras (Kr. 2) Triticale (Kr.3)
			12,0		
Wilmersdorf	29.03.05	40	12,0	20.09.05	Kleegras
2006					
Göttingen	20.04.06	40	4,2	05.09.06	Erbsen
Hohenheim	20.04.06	40	4,2	06.09.05	Hafer
Wilmersdorf	21.04.06	40	5,0	06.09.06	Lupinen
Darzac	21.04.06	40	5,0	24.08.06	WW

^a WW: Winterweizen, WR: Winterroggen

In 2006 fand der Vergleichsanbau statt. Das Erntegut der drei Kreuzungen aller Herkunftsorte aus 2005 wurde an vier Standorten (Göttingen, Hohenheim, Wilmersdorf und Darzau) in einer Spaltanlage in zweifacher Wiederholung angebaut (vergleiche Tabelle 3).

Die Großteilstücke beinhalteten die Kreuzungen, die Kleinteilstücke die einzelnen Herkünfte und die für die Kreuzung jeweilige Kontrolle, wie sie bereits im Rahmen der Stammbaummethode beschrieben wurde.

Das Erntegut aus 2005 der Parzellen Kreuzung 1 und Kreuzung 3 aus Hohenheim wies eine sehr geringe Keimfähigkeit auf, sodass hier das Erntegut aus dem Jahr 2004 verwendet werden musste. Auf dem Feld wurden die gleichen Merkmale wie in der Stammbaummethode erfasst. Nach der Ernte wurden der Ölgehalt, der bereinigte Einzelpflanzenenertrag (genannt EP-Ertrag, siehe Stammbaummethode) und das TKG ermittelt.

Einkornramschr

Die Grundlage der Einkornramschrmethode bildeten die 50 F2-Pflanzen pro Kreuzung, die bereits im Rahmen der Stammbaummethode und der natürlichen Selektion erwähnt wurden. Im Frühjahr 2004 wurde je ein Nachkomme der 150 F2-Pflanzen ausgesät. Die Pflanzen wuchsen im Gewächshaus, sodass bereits im Herbst 2004 je ein Nachkomme der F3-Pflanzen angebaut werden konnte. Pro Jahr wurden zwei Generationen einzelpflanzenweise weitergeführt, sodass im Herbst 2006 die F6-Pflanzen ausgesät wurden. Hier wurden pro F5-Pflanze zwei Achänen ausgelegt. Das Erntegut der zusätzlichen F6-Pflanzen wurde pro Kreuzung zu gleichen Teilen gemischt und als unselektierte Kontrolle in die Versuchsanlagen der Stammbaummethode und der natürlichen Selektion integriert.

Die F7-Prüfglieder wurden 2006 an zwei Orten (Göttingen und Hohenheim) zusammen mit den Eltern in ein Meter langen Doppelreihen angebaut. Je 20 Achänen pro Doppelreihe wurden ausgesät. Als Hilfe für die Bonituren wurde die Sorte Sabina in regelmäßigen Abständen als Standard in die Versuchsanlage eingefügt. Aufgrund der begrenzten Menge an Saatgut, das von Einzelpflanzen geerntet wurde, wurde an den Orten keine Wiederholung angelegt. Die erfassten Merkmale waren die gleichen wie in der Stammbaummethode. Der Ertrag pro Doppelreihe wurde gewogen und anschließend der bereinigte Einzelpflanzenenertrag (EP-Ertrag, siehe Stammbaummethode) berechnet. Die Aussaat fand in Göttingen, nach Erbsen, am 24. April statt, geerntet wurde am 5. September. In Hohenheim wurde am 21. April nach der Vorfrucht Hafer ausgesät. Der Aufgang in Hohenheim war aus ungeklärten Gründen sehr schlecht. Deshalb konnten nur die Daten aus Göttingen ausgewertet werden.

Die statistische Analyse des Versuches wurde mit dem Programm PLABSTAT (Version 3Awin-mini, 2005) durchgeführt. Die Adjustierung der Parzellen wurde über gleitende Mittelwerte berechnet. Jede Kreuzung war Gegenstand einer Einzelbetrachtung. Die Mittelwerte der umliegenden Parzellen wurden als Kovariable zusammengefasst und für die Korrektur verwendet (Utz 2005).

2.3.3. Untersuchungen zur Fremdbefruchtung

Da die Angabe über die Fremdbefruchtung bei Saflor in der Literatur stark variieren, wurden Untersuchungen hierzu durchgeführt. Es wurde geselbstetes Saatgut der unbestachelten Sorte Sabina und des bestachelten Genotyps CR1 verwendet. Beide blühen gelb. Die Fremdbefruchtung zwischen den Parzellen wurde einjährig, die innerhalb der Parzelle zweijährig untersucht. Die Versuche wurden in Göttingen angelegt. Nach Pahlavani et al. (2004) wurde angenommen, dass das Merkmal „bestachelt“ vollständig dominant gegenüber dem Merkmal „unbestachelt“ ist.

Fremdbefruchtung zwischen Parzellen

In 2004 wurde eine 10 m² große Parzelle mit einer Aussatstärke von 40 Achänen/m² der Sorte Sabina, umgeben von Parzellen mit bestachelten Pflanzen, angebaut. Je zehn Pflanzen wurden aus beiden Rändern und der Mitte der unbestachelten Parzelle geerntet und 30 Achänen pro Pflanze im nächsten Jahr auf dem Feld ausgesät. Aus dem Verhältnis der bestachelten Nachkommen zu den unbestachelten wurde die Fremdbefruchtungsrate ermittelt.

Fremdbefruchtung innerhalb einer Parzelle

Je 35 Achänen von Sabina und 315 Achänen von CR1 wurden gemischt und in einer 10 m² großen Parzelle angebaut. In 2004 wurde der Versuch neben anderen Saflorversuchen angelegt, 2005 wurde die Parzelle isoliert.

Der Anteil aufgegangener unbestachelter Pflanzen am Gesamtaufgang wurde gezählt. Je zehn Pflanzen Sabina wurden zufällig geerntet. In 2005 wurden 50 Nachkommen pro Pflanze aus 2004 im Gewächshaus und in 2006 135 Nachkommen pro Pflanze aus 2005 auf dem Feld ausgesät. Der Anteil bestachelter und unbestachelter Nachkommen wurde ermittelt und daraus die Fremdbefruchtungsrate errechnet.

3. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

3.1.1. Teilprojekt 1: Entwicklung von Schnellmethoden zur züchterischen Beurteilung von Qualitätseigenschaften

Kalibration für Ölgehalt

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse von sechs Kalibrationen dargestellt, je drei für die Schätzung des Ölgehaltes an intakten und gemahlene Achänen. Bei den Kalibrationen Ölgehalt 2 und Ölgehalt 3 handelt es sich um eine jeweilige Erweiterung der vorangegangenen Kalibration.

Die beste Übereinstimmung zwischen Referenzwerten und den NIRS-Werten wurde mit den Kalibrationen Ölgehalt 1 erreicht. Die Bestimmtheitsmaße der Kalibrationen für intakte ($R^2=0,91$) und gemahlene Achänen ($R^2=0,92$) differierten nur unwesentlich. Das Bestimmtheitsmaß der Kreuzvalidierung für die Variante intakte Achänen ($1-VR=0,81$) war dagegen niedriger als das der Variante Mehl ($1-VR=0,91$). Auch die Standardfehler waren bei der Kalibration und besonders bei der Kreuzvalidierung niedriger, wenn die Proben als Mehl gemessen wurden ($SEC=1,01$, $SECV=1,09$).

Das Bestimmtheitsmaß der Kreuzvalidierung der Variante intakte Achänen in Ölgehalt 2 war etwas höher als das in Ölgehalt 1. Ansonsten zeigten die Kalibrationen Ölgehalt 2 in beiden Varianten höhere Standardfehler als die Kalibrationen Ölgehalt 1.

Das Bestimmtheitsmaß war in der Kalibration Ölgehalt 3 für die Messung intakter Achänen etwas geringer ($R^2=0,87$), für die Kreuzvalidierung dagegen etwas höher ($1-VR=0,84$) als in der Kalibrierung Ölgehalt 1. Für die Messung gemahlener Achänen waren die Bestimmtheitsmaße für die Kalibration ($R^2=0,91$) und für die Kreuzvalidierung ($1-VR=0,87$) geringer.

Die Standardfehler der Kalibrationen und Kreuzvalidierungen Ölgehalt 3 waren, sowohl für die Messungen intakter als auch gemahlener Achänen, größer als in den Kalibrationen Ölgehalt 1.

Die erweiterten Kalibrationen zeigten allgemein etwas höhere Standardfehler, beruhten jedoch auf einem Probensatz mit größerer Variation im Ölgehalt und in den Herkunftsorten. Der Wert $SD/SECV$ war bei der Messung intakter Achänen in den Kalibrationen Ölgehalt 2 und 3 höher als bei der Kalibration Ölgehalt 1. Bei der Variante Mehl war dies nicht der Fall.

Tabelle 4: Statistik der Kalibrationen und der Kreuzvalidierungen für Ölgehalt (%)

Merkmal	Kalibration ^a							Kreuzvalidierung ^b		SD/SECV
	N	Mittel	SD	Min.	Max.	SEC	R ²	SECV	1-VR	
Intakte Achänen										
Ölgehalt 1	108	20,41	3,61	10,03	29,57	1,09	0,91	1,58	0,81	2,28
Ölgehalt 2	463	20,29	5,28	3,26	30,63	1,97	0,86	2,18	0,83	2,43
Ölgehalt 3	571	21,00	5,30	3,26	32,49	1,92	0,87	2,13	0,84	2,48
Mehl										
Ölgehalt 1	108	20,41	3,61	10,03	29,57	1,01	0,92	1,09	0,91	3,33
Ölgehalt 2	463	20,29	5,28	3,26	30,63	1,46	0,92	1,75	0,89	3,03
Ölgehalt 3	571	21,00	5,30	3,26	32,49	1,59	0,91	1,88	0,87	2,81

^a N=Anzahl Proben, SD=Standardabweichung, SEC=Standardfehler der Kalibration, R^2 =Bestimmtheitsmaß der Kalibration, ^b SECV=Standardfehler der Kreuzvalidierung, $1-VR$ =Bestimmtheitsmaß der Kreuzvalidierung

NIRS kann als eine schnelle, kostengünstige Methode angewendet werden, um den Ölgehalt in einer großen Anzahl von Saflorproben zu untersuchen, zum Beispiel bei der Selektion vieler Genotypen, die eine große Variation aufweisen. Werden genaue Ergebnisse benötigt, sollte anschließend die kleinere Gruppe der besten, mittels NIRS ausgewählten, Genotypen im Labor untersucht werden. NIRS kann folglich dazu dienen, eine anfangs große Anzahl Proben für die zeitaufwändigen Laboranalysen zu reduzieren. Besonders interessant ist die Kalibration für intakte Achänen, da durch diese Methode der Ölgehalt auch bei kleinen Saatgutmengen bestimmt werden kann, ohne die Achänen zu vermahlen.

Kalibration für Linolsäure- und Ölsäuregehalt

Die statistischen Parameter der Kalibrationsentwicklungen für intakte und gemahlene Achänen sind in der Tabelle 5 dargestellt.

Die 534 Referenzwerte des Linolsäuregehaltes zeigten mit einem Minimum von 67,26% und einem Maximum von 86,02% eine relativ große Variation. Die Linolsäuregehalte wurden genauer geschätzt, wenn die NIRS-Spektren an Mehl erfasst wurden ($R^2=0,83$ und $1-VR=0,76$). Auch die Standardfehler der Kalibration und der Kreuzvalidierung waren in diesem Fall niedriger (SEC=1,38 und SECV=1,63).

Der Ölsäuregehalt wurde mit Hilfe desselben Probensatzes geschätzt. Die Spannweite der Referenzwerte betrug hier 6,06% bis 17,81%. Auch bei diesem Merkmal waren die Bestimmtheitsmaße bei der Variante Mehl höher ($R^2=0,84$ und $1-VR=0,76$) und die Standardfehler niedriger (SEC=0,91 und SECV=1,11).

Die Genauigkeit der Kalibrationen für Linolsäure- und Ölsäuregehalt, gemessen an SD/SECV, unterschieden sich kaum. Dies galt sowohl für die Kalibrationen, die auf den Messungen der intakten Achänen beruhten, als auch für die, die aufgrund von Messungen an Mehl erstellt wurden.

Die Kalibrationen lieferten nicht so exakte Ergebnisse wie die Kalibrationen für den Ölgehalt, was die geringeren SD/SECV-Werte zeigten.

Tabelle 5: Statistik der Kalibrationen und der Kreuzvalidierungen für Linolsäure- und Ölsäuregehalt (%)

Merkmal	Kalibration ^a							Kreuzvalidierung ^b		SD/SECV
	N	Mittel	SD	Min.	Max.	SEC	R ²	SECV	1-VR	
Intakte Achänen										
Linolsäure	534	80,95	3,33	67,26	86,02	1,74	0,73	2,05	0,62	1,63
Ölsäure	534	9,32	2,27	6,06	17,81	1,28	0,68	1,44	0,60	1,58
Mehl										
Linolsäure	534	80,95	3,33	67,26	86,02	1,38	0,83	1,63	0,76	2,04
Ölsäure	534	9,32	2,27	6,06	17,81	0,91	0,84	1,11	0,76	2,04

^a N=Anzahl Proben, SD=Standardabweichung, SEC=Standardfehler der Kalibration, R²=Bestimmtheitsmaß der Kalibration, ^b SECV=Standardfehler der Kreuzvalidierung, 1-VR=Bestimmtheitsmaß der Kreuzvalidierung

Die NIRS-Methode kann aufgrund dieser Ergebnisse in der Variante „Messung intakter Achänen“ als eine nicht destruktive, grobe Schätzmethode für Linolsäure- und Ölsäuregehalt angewendet werden. Bessere Ergebnisse wurden durch die Messung von Mehl erzielt, die aber nicht an die Präzision der GC-Analyse reichten. Hilfreich kann die NIRS-Messung sein, um eine Vorauswahl der Proben zu treffen, die im Labor untersucht werden sollen. Durch Hinzufügen weiterer Proben aus anderen Jahren und Orten könnten die Kalibrationen, deren Standardabweichungen bislang noch relativ gering sind, möglicherweise verbessert werden.

Kalibration für Schalenanteil

Die Kalibrationen zum Schätzen des Schalenanteils beruhten auf 158 Proben, die eine Standardabweichung von 13,4 (Minimum=42,51%, Maximum=99,10%) zeigten. Anders als bei den Merkmalen Ölgehalt, Linolsäure- und Ölsäuregehalt lagen hier die SD/SECV-Werte bei der Gleichung für intakte Achänen höher als bei der Variante Mehl. Die Bestimmtheitsmaße der Kalibration und Kreuzvalidierung fielen bei der Messung intakter Achänen ebenfalls höher ($R^2=0,90$ und $1-VR=0,81$) aus (Tabelle 6).

Tabelle 6: Statistik der Kalibrationen und der Kreuzvalidierungen für Schalenanteil

Merkmal	Kalibration ^a							Kreuzvalidierung ^b		SD/SECV
	N	Mittel	SD	Min.	Max.	SEC	R ²	SECV	1-VR	
Intakte Achänen										
Schalenanteil	158	63,33	13,40	42,51	99,10	4,27	0,90	5,81	0,81	2,31
Mehl										
Schalenanteil	158	63,33	13,40	42,51	99,10	6,03	0,80	6,66	0,75	2,01

^a N=Anzahl Proben, SD=Standardabweichung, SEC=Standardfehler der Kalibration, R²=Bestimmtheitsmaß der Kalibration, ^b SECV=Standardfehler der Kreuzvalidierung, 1-VR=Bestimmtheitsmaß der Kreuzvalidierung

Die NIRS-Methode kann bei Saflor für dieses Merkmal keine exakte Schätzung liefern. Bei einer großen Anzahl von Proben mit breiter Variation sind diese Kalibrationen für Informationen über den Schalenanteil jedoch hilfreich, da die Bestimmung durch Einweichen und Wiegen der Achänen sich als sehr zeitaufwändig darstellte. Der Schalenanteil ist mit dem Ölgehalt korreliert. Da die Bestimmung des Ölgehaltes mit NIRS möglich ist, ist die Bestimmung des Schalenanteils weniger wichtig.

3.1.2. Teilprojekt 2: Vergleich verschiedener Ausleseverfahren

Stammbaummethode

Köpfchenfäule

Die Linien waren in der ersten Kreuzung signifikant vom Mittel aus Kontrolle und Eltern verschieden. Die beiden Eltern der ersten Kreuzung (AC Sunset und CR1) unterschieden sich hoch signifikant und die beiden Eltern der dritten Kreuzung (Sabina und AC Sunset) signifikant voneinander. Eine Interaktion zwischen den Genotypen und den Orten zeigte sich in der ersten und dritten Kreuzung (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Ergebnisse der Varianzanalyse für das Merkmal Köpfchenfäule (Note) an vier (Kreuzung 3: zwei) Standorten 2006

Varianzursache ^a	Kreuzung 1				Kreuzung 2				Kreuzung 3			
	FG	MQ	F-Wert		FG	MQ	F-Wert		FG	MQ	F-Wert	
G	31	0,47	1,29	ns	31	0,35	1,25	ns	29	0,70	0,63	ns
L vs (K+2E)	1	1,72	4,67	*	1	0,74	2,63	ns	1	0,05	0,04	ns
K vs 2E	1	0,01	0,01	ns	1	0,10	0,34	ns	1	0,08	0,07	ns
E1 vs E2	1	3,28	8,88	**	1	0,14	0,49	ns	1	7,70	6,90	*
L	28	0,35	0,94	ns	28	0,35	1,26	ns	26	0,48	0,43	ns
GxO	93	0,37	1,39	*	93	0,28	1,06	ns	29	1,12	4,48	**

*/** signifikant bei $p \leq 0,05/0,01$, ^a G: Genotypen, L: Linien, K: Kontrolle, E: Elter, O: Standorte

In Abbildung 1 sind die Boniturnoten der Genotypen für die drei Kreuzungen dargestellt. Der Elter 1 steht jeweils für die Mutter (Kreuzung 1: AC Sunset, Kreuzung 2: Saffire und Kreuzung 3: Sabina), der Elter 2 für den Vater (Kreuzung 1: CR1, Kreuzung 2: CR1 und Kreuzung 3: AC Sunset). Die Daten der Mittelwerte finden sich in der Tabelle 8.

In allen drei Kreuzungen wiesen viele Linien einen geringeren Befall mit Köpfchenfäule auf als die unselektierte Kontrolle. In der ersten Kreuzung waren es 27 Linien, die besser waren als die Kontrolle, in der zweiten 23 und in der dritten 16. Signifikant besser waren in den ersten beiden Kreuzungen noch zwei Linien und in der dritten Kreuzung keine Linie. Es war in allen drei Kreuzungen ein Selektionserfolg (L-K) zu beobachten, besonders in den ersten beiden Kreuzungen waren die Linien im Mittel geringer befallen als die Kontrolle. Der Befall der Linien in Kreuzung 3 war relativ stark. In den Kreuzungen 1 und 2 war er geringer.

Der Elter AC Sunset war im Vergleich zu den anderen Eltern stark befallen. Die Boniturnoten der Linien variierten in der Kreuzung 1 zwischen 2,13 und 3,40, in der Kreuzung 2 zwischen 2,09 und 3,13. Große Variation zwischen 2,74 und 4,77 war in der Kreuzung 3 zu erkennen.

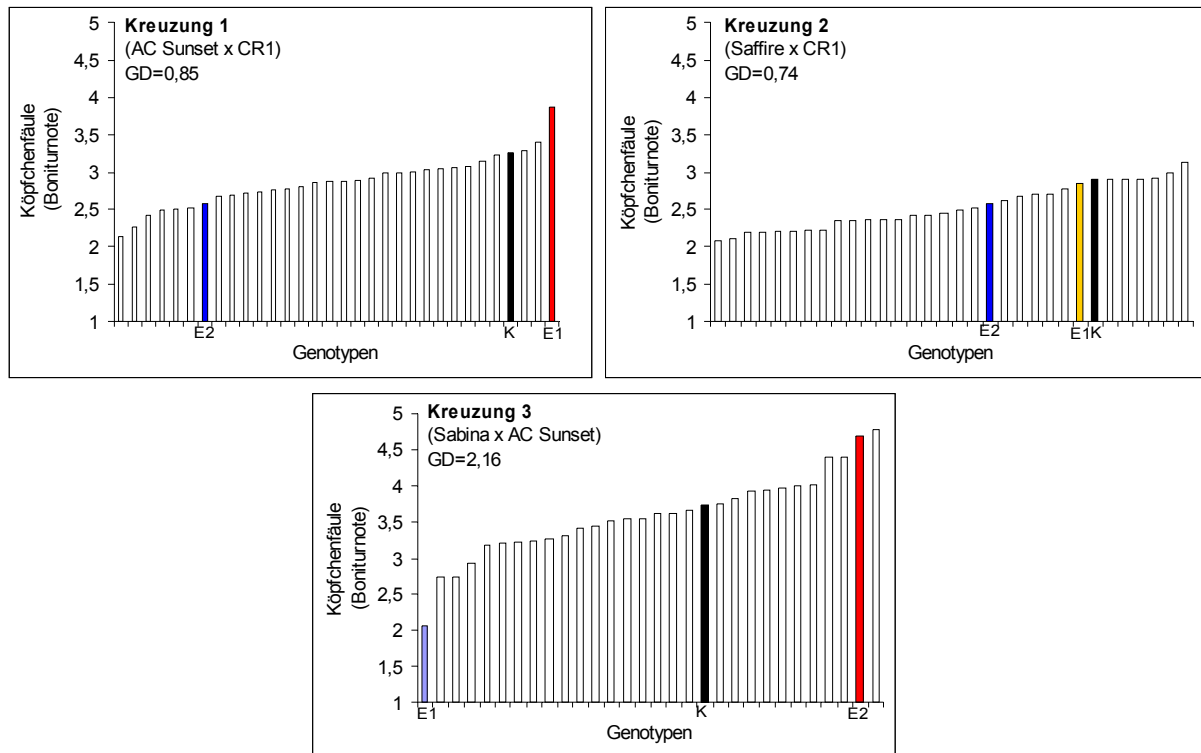


Abbildung 1: Köpfchenfäule, Boniturnoten der 29 (27) Linien, der Kontrolle (K) und der Eltern (E1, E2), gemittelt über vier (zwei) Versuchsstandorte

Um einen Überblick über die Verteilung der Daten zu erhalten, wurden zusätzlich die Ergebnisse der einzelnen Orte betrachtet (Tabelle 8). Der Selektionserfolg war an den einzelnen Orten unterschiedlich. In Wilmersdorf und Darzau wirkte sich die Selektion in beiden Kreuzungen positiv aus. In Hohenheim dagegen war kein Erfolg der Selektion zu erkennen. Die Selektion war in Göttingen in den Kreuzungen 2 und 3 erfolgreich, in der ersten nicht. Der Befall war allgemein an den niederschlagsreicheren Standorten Göttingen und Hohenheim höher als in Wilmersdorf.

Tabelle 8: Köpfchenfäule (Note1-9, 1: kein Befall), Befall an den Versuchsstandorten und im Mittel der Orte

	Standorte ^a				Mittel
	Gö	Ho	Wi	Da	
Kreuzung 1					
Elter 1 (AC Sunset)	5,00	4,00	3,01	3,42	3,86
Elter 2 (CR1)	3,00	2,50	1,00	3,81	2,58
Mittel der Linien (L)	3,52	2,50	1,80	3,53	2,83
Kontrolle (K)	3,00	2,50	2,49	5,06	3,26
L - K	0,52	0,00	-0,69	-1,53	-0,43
Anzahl L besser als K	0	7	24	27	
Kreuzung 2					
Elter 1 (Saffire)	3,50	2,50	2,48	2,88	2,84
Elter 2 (CR1)	3,00	2,50	1,00	3,81	2,58
Mittel der Linien (L)	3,16	2,53	1,53	2,83	2,51
Kontrolle (K)	4,00	2,50	2,03	3,06	2,90
L - K	-0,84	0,03	-0,50	-0,23	-0,39
Anzahl L besser als K	27	7	23	20	
Kreuzung 3					
Elter 1 (Sabina)	2,01	2,06			2,04
Elter 2 (AC Sunset)	4,93	4,69			4,81
Mittel der Linien (L)	3,30	3,90			3,60
Kontrolle (K)	3,56	3,78			3,67
L - K	-0,26	0,12			-0,07
Anzahl L besser als K	17	11			

^a Gö: Göttingen, Ho: Hohenheim, Wi: Wilmersdorf, Da: Darzau

Alternaria-Blattflecken

In der dritten Kreuzung unterschieden sich die Linien signifikant vom Mittel der Kontrolle und den beiden Eltern. Die Eltern unterschieden sich in allen Kreuzungen hoch signifikant voneinander. Außerdem gab es in der Kreuzung 1 signifikante und in der Kreuzung 2 hoch signifikante Interaktionen zwischen den Genotypen und den Standorten (Tabelle 9).

Tabelle 9: Ergebnisse der Varianzanalyse für das Merkmal Alternaria-Blattflecken (Note 1-9, 1: kein Befall) an zwei Orten 2006

Varianzursache ^a	Kreuzung 1				Kreuzung 2				Kreuzung 3			
	FG	MQ	F-Wert	ns	FG	MQ	F-Wert	ns	FG	MQ	F-Wert	ns
G	31	0,57	1,51	ns	31	0,92	1,60	ns	29	0,88	3,09	**
L vs (K+2E)	1	0,11	0,28	ns	1	0,07	0,12	ns	1	1,25	4,40	*
K vs 2E	1	0,52	1,37	ns	1	0,19	0,33	ns	1	1,01	3,55	ns
E1 vs E2	1	7,56	19,85	**	1	7,56	13,14	**	1	10,82	38,11	**
L	28	0,34	0,90	ns	28	0,74	1,28	ns	26	0,48	1,67	ns
GxO	31	0,38	1,84	*	31	0,58	2,78	**	29	0,28	1,66	ns

*/** signifikant bei $p \leq 0,05/0,01$, ^a G: Genotypen, L: Linien, K: Kontrolle, E: Elter, O: Standorte

In der Befallsstärke der Linien gab es eine deutliche Variation. In der Kreuzung 1 wurden Boniturnoten zwischen 2,25 und 4,00 beobachtet, in der Kreuzung 2 zwischen 2,00 und 4,50 und in der Kreuzung 3 zwischen 1,37 und 3,00. Deutlich ist der Unterschied im Befall der jeweiligen beiden Eltern zu erkennen (Abbildung 2). Sabina wies einen geringen Befall an zwei Standorten auf, gefolgt von CR1 im Mittel über vier Standorte. Die beiden kanadischen Sorten Saffire und AC Sunset waren recht stark befallen. In den ersten beiden Kreuzungen wiesen nur wenige Linien einen geringeren Befall als die jeweilige Kontrolle auf (Kreuzung 1: zwei Linien, Kreuzung 2: fünf Linien). Viele Linien zeigten jedoch die gleiche Boniturnote wie die Kontrolle. In der ersten Kreuzung waren es zehn und in der zweiten Kreuzung sieben Linien. In der dritten Kreuzung waren zwölf Linien im Alternaria-Blattfleckenbefall besser als die Kontrolle. In den drei Kreuzungen waren keine Linien signifikant weniger befallen als die Kontrolle. In keiner Kreuzung wurde im Mittel über die Orte ein Selektionserfolg (L-K) beobachtet (Tabelle 10).

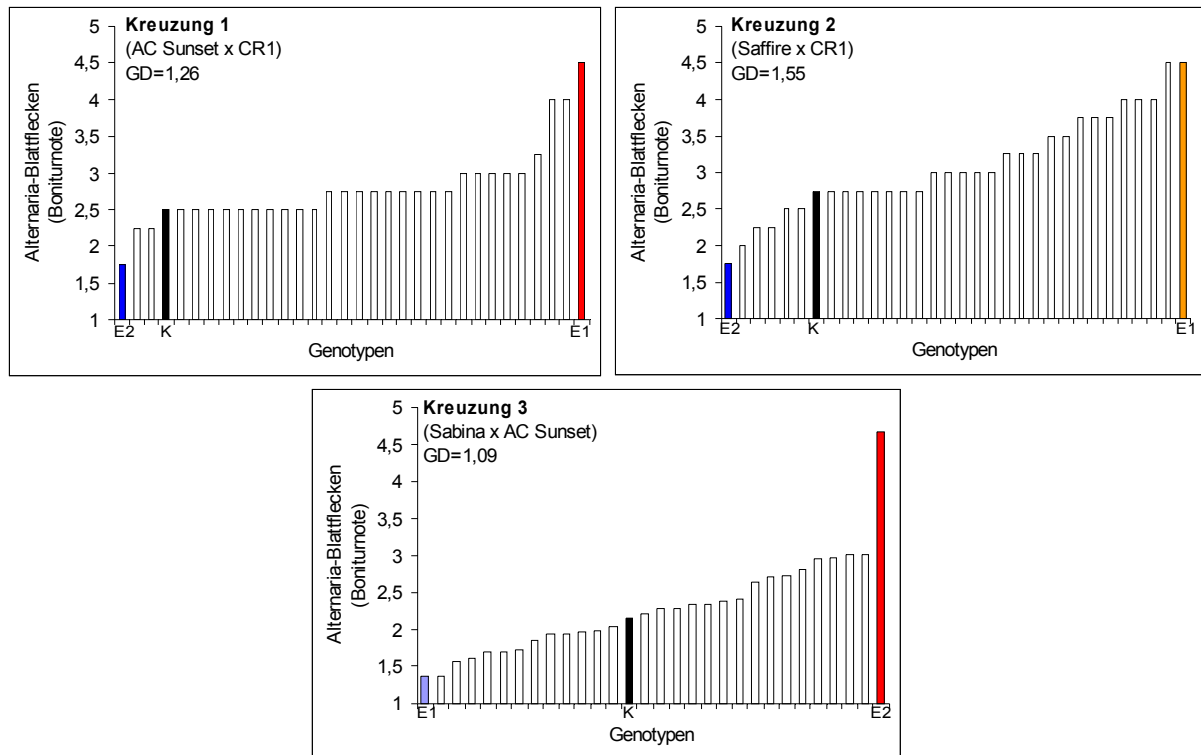


Abbildung 2: Alternaria-Blattflecken, Boniturnoten der 29 (27) Linien, der Kontrolle (K) und der Eltern (E1, E2), gemittelt über zwei Versuchsstandorte

An den Daten der einzelnen Orte ist erkennbar, dass AC Sunset und Saffire an beiden Orten stark befallen waren. Meist konnte kein Effekt der Selektion beobachtet werden, nur in der dritten Kreuzung in Göttingen war die Selektion erfolgreich (Tabelle 10).

Tabelle 10: Alternaria-Blattflecken (Note 1-9, 1: kein Befall), Befall an den Versuchsstandorten und im Mittel der Orte

	Standorte ^a		Mittel
	Gö	Ho	
Kreuzung 1			
Elter 1 (AC Sunset)	5,00	4,00	4,50
Elter 2 (CR1)	1,50	2,00	1,75
Mittel der Linien (L)	2,69	2,86	2,78
Kontrolle (K)	2,50	2,50	2,50
L - K	0,19	0,36	0,28
Anzahl L besser als K	5	5	
Kreuzung 2			
Elter 1 (Saffire)	5,00	4,00	4,50
Elter 2 (CR1)	1,50	2,00	1,75
Mittel der Linien (L)	3,40	2,83	3,11
Kontrolle (K)	3,00	2,50	2,75
L - K	0,40	0,33	0,36
Anzahl L besser als K	7	4	
Kreuzung 3			
Elter 1 (Sabina)	1,01	1,72	1,37
Elter 2 (AC Sunset)	3,97	5,34	4,66
Mittel der Linien (L)	1,92	2,56	2,24
Kontrolle (K)	2,12	2,16	2,14
L - K	-0,20	0,40	0,10
Anzahl L besser als K	19	6	

^a Gö: Göttingen, Ho: Hohenheim, Wi: Wilmersdorf, Da: Darzau

Ölgehalt

Die Daten für die Varianzanalyse des Ölgehaltes zeigen, dass sich die Eltern der zweiten Kreuzung (Saffire und CR1) hoch signifikant voneinander unterschieden. Die Linien der ersten und zweiten Kreuzung unterschieden sich ebenfalls hoch signifikant voneinander. In allen drei Kreuzungen gab es starke Interaktionen zwischen den Genotypen und den Standorten (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Ergebnisse der Varianzanalyse für das Merkmal Ölgehalt (%) an vier (Kreuzung 3: zwei) Standorten 2006

Varianzursache ^a	Kreuzung 1				Kreuzung 2				Kreuzung 3			
	FG	MQ	F-Wert	**	FG	MQ	F-Wert	**	FG	MQ	F-Wert	**
G	31	7,34	1,97	**	31	6,61	2,18	**	29	5,16	0,88	ns
L vs (K+2E)	1	0,89	0,24	ns	1	4,71	1,56	ns	1	0,16	0,03	ns
K vs 2E	1	2,14	0,57	ns	1	0,53	0,17	ns	1	5,55	0,95	ns
E1 vs E2	1	14,20	3,82	ns	1	21,45	7,08	**	1	6,15	1,05	ns
L	28	7,51	2,02	**	28	6,37	2,10	**	26	5,30	0,90	ns
GxO	93	3,72	1,92	**	93	3,03	1,56	**	29	5,86	2,44	**

** signifikant bei $p \leq 0,01$, ^a G: Genotypen, L: Linien, K: Kontrolle, E: Elter, O: Standorte

Abbildung 3 verdeutlicht, dass die Eltern aller drei Kreuzungen unterschiedlichen Ölgehalt aufwiesen, wenn dies auch nur in der zweiten Kreuzung signifikant war. Auffällig ist, dass AC Sunset, gemessen am Durchschnitt der vier Orte, einen Ölgehalt von 25,13% besaß, in der dritten Kreuzung jedoch einen relativ niedrigen Ölgehalt von 18,47% zeigte, was später in der Betrachtung der Daten an den einzelnen Orten nochmal erläutert wird. In allen drei Kreuzungen variierten die Ölgehalte der Linien relativ stark. In Kreuzung 1 lagen sie zwischen 20,19% und 26,24%, in der Kreuzung 2 zwischen 21,42% und 26,89% und in der Kreuzung 3 zwischen 17,00% und 23,56%. In den Kreuzungen 1 und 2 wiesen jeweils 23 Linien einen höheren Ölgehalt als die Kontrolle auf. In der Kreuzung 3 waren es nur fünf Linien. Signifikant besser waren in der ersten und zweiten Kreuzung jeweils zwei Linien, in der dritten Kreuzung keine. In den Kreuzungen 1 und 2 stieg der Ölgehalt durch die Selektion, in der dritten Kreuzung war das Mittel der Linien geringer als der Ölgehalt der Kontrolle (Tabelle 12).

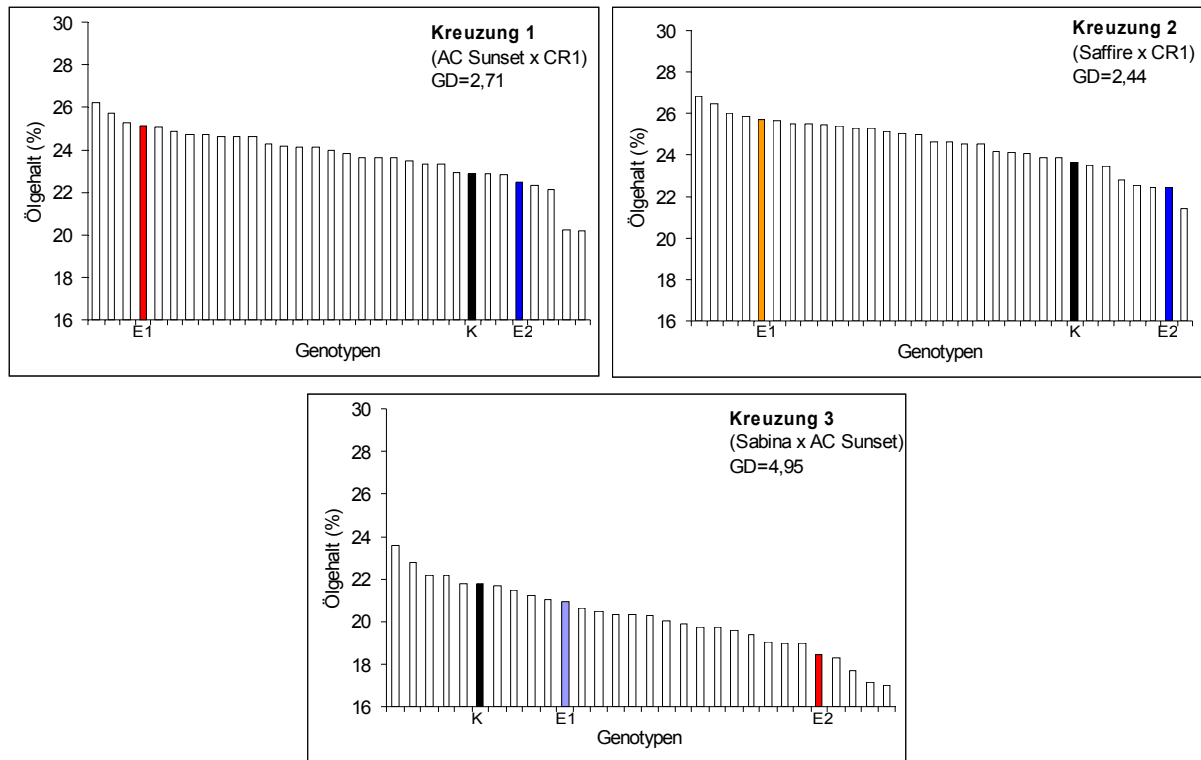


Abbildung 3 :Ölgehalt (%) der 29 (27) Linien, der Kontrolle (K) und der Eltern (E1, E2), gemittelt über vier (zwei) Versuchsstandorte

Der Selektionserfolg war in den Kreuzungen und an den Standorten unterschiedlich. An den einzelnen Orten wiesen zahlreiche Linien in den Kreuzungen 1 und 2 einen höheren Ölgehalt als die Kontrolle auf. Wilmersdorf wich in der Kreuzung 1 und Göttingen in Kreuzung 2 etwas ab. AC Sunset (Elter 1 in Kreuzung 1 und Elter 2 in Kreuzung 3) zeigte in Göttingen im Vergleich zu den anderen Standorten einen sehr niedrigen Ölgehalt. Dies erklärt die oben erwähnten großen Unterschiede im Ölgehalt dieses Elters in Kreuzung 1 und 3 (Tabelle 12).

Tabelle 12: Ölgehalt (%), Daten der Versuchsstandorte und im Mittel der Orte

	Standorte ^a				Mittel
	Gö	Ho	Wi	Da	
Kreuzung 1					
Elter 1 (AC Sunset)	16,50	27,74	28,68	27,60	25,13
Elter 2 (CR1)	19,02	21,70	30,95	18,19	22,47
Mittel der Linien (L)	19,03	24,51	27,64	23,95	23,78
Kontrolle (K)	18,46	23,24	28,21	21,70	22,90
L - K	0,57	1,27	-0,57	2,25	0,88
Anzahl L besser als K	19	18	10	27	
Kreuzung 2					
Elter 1 (Saffire)	18,92	27,19	32,16	24,69	25,74
Elter 2 (CR1)	19,02	21,70	30,95	18,19	22,47
Mittel der Linien (L)	20,63	25,98	27,59	24,25	24,61
Kontrolle (K)	21,27	24,67	26,53	22,16	23,66
L - K	-0,64	1,31	1,06	2,09	0,95
Anzahl L besser als K	8	21	24	28	
Kreuzung 3					
Elter 1 (Sabina)	20,00	21,89			20,95
Elter 2 (AC Sunset)	14,91	22,02			18,47
Mittel der Linien (L)	18,96	21,48			20,22
Kontrolle (K)	19,41	24,08			21,75
L - K	-0,45	-2,60			-1,53
Anzahl L besser als K	10	6			

^a Gö: Göttingen, Ho: Hohenheim, Wi: Wilmersdorf, Da: Darzau

Methode der natürlichen Selektion

In 2006 wurden die neun Ramschherkünfte, die der natürlichen Selektion unterlagen, an vier Standorten zusammen mit den drei unselektierten Kontrollen verglichen. Für einen gleichmäßigen Feldaufgang wurde vor der Aussaat die Keimfähigkeit des Erntegutes aus 2005 untersucht. Es waren deutliche Unterschiede in den Kreuzungen zu beobachten. Bei den Kreuzungen 1 und 3 der Ramschherkünfte aus Hohenheim handelt es sich um die Keimfähigkeit des Saatgutes aus 2004 (Tabelle 13). Obwohl anhand des TKG und der Keimfähigkeit die Aussaatstärke für jede Parzelle einzeln errechnet wurde, war der Feldaufgang an den Standorten und in den Ramschherkünften sehr unterschiedlich (Tabelle 14).

Tabelle 13: Keimfähigkeit (%) des Erntegutes aus 2005 (bei R Ho Kreuzung 1 und Kreuzung 3 aus 2004)

Kreuzung	R Gö	R Ho	R Wi
Kreuzung 1	26	48	52
Kreuzung 2	82	42	84
Kreuzung 3	28	39	36

Herkunftsorte: R Gö: Göttingen, R Ho: Hohenheim, R Wi: Wilmersdorf

Tabelle 14: Feldaufgang (Pflanzen pro m²) an den vier Versuchsstandorten

Standort	R Gö	R Ho	R Wi	Kontrolle	Mittel
Göttingen	19,9	29,9	20,0	25,7	23,9
Hohenheim	9,4	17,7	10,1	21,0	14,6
Wilmersdorf	10,8	22,2	13,6	19,5	16,5
Darzac	7,4	10,1	8,8	11,8	9,5

Herkunftsorte: R Gö: Göttingen, R Ho: Hohenheim, R Wi: Wilmersdorf

In Tabelle 15 sind die Ergebnisse der natürlichen Selektion an den drei Herkunftsorten (Göttingen, Hohenheim und Wilmersdorf) sowie die Daten der Kontrollen dargestellt, gemittelt über die Standorte und Kreuzungen. Außerdem wurde eine Varianzanalyse durchgeführt. Die Varianzkomponenten der Herkunftsorte (H), der Interaktion zwischen Herkünften und Kreuzungen (HxC) und der Interaktion zwischen den Herkünften und den Standorten (HxO) sind für alle Merkmale Tabelle 15 dargestellt.

Die natürliche Selektion führte zu einem späteren Blühbeginn, Blühende und Reifezeitpunkt. Hier waren hoch signifikante Unterschiede zwischen den Ramschherkünften und der Kontrolle zu verzeichnen. Die Pflanzen blühten im Durchschnitt länger, was aber nicht durch Signifikanz zu belegen war.

Die natürliche Selektion führte zu kürzeren Pflanzen. Die Unterschiede waren jedoch nicht signifikant. Stattdessen trat eine signifikante Interaktion zwischen den Herkünften und den Kreuzungen auf.

Der Befall mit Köpfchenfäule nahm im Vergleich zur Kontrolle bei allen drei Ramschherkünften signifikant ab. Der Alternaria-Blattfleckenbefall, der nur in Göttingen und Hohenheim differenziert auftrat, nahm nicht signifikant ab.

Der Ölgehalt veränderte sich im Laufe der natürlichen Selektion nicht signifikant.

Hoch signifikante Unterschiede zeigten sich beim Merkmal EP-Ertrag. Dieser war im Mittel der einzelnen Ramschherkünfte höher als der Mittelwert der Kontrolle. Das gleiche Ergebnis war für das TKG zu beobachten, bei dem die natürliche Selektion zu einem Anstieg führte. Der Schalenanteil nahm zu, was aber nicht signifikant belegt werden konnte.

Tabelle 15: Ergebnisse der natürlichen Selektion der drei Herkunftsorte und der Kontrolle, im Mittel über die Standorte und Kreuzungen sowie die Varianzkomponenten

Merkmal ^a	Herkunftsort ^b				GD (0,05) ^c	Varianzkomponenten ^d					
	R Gö	R Ho	R Wi	Kontrolle		H	HxC	HxO			
Blühbeginn	199,83	199,42	200,08	198,71	0,36	0,35	**	0,14	**	0,22	**
Blühende	218,88	218,46	219,29	217,00	1,09	0,85	**	0,02	ns	0,74	*
Blühdauer	19,04	19,04	19,21	18,29	1,04	0,04	ns	-0,22	ns	0,28	ns
Reifezeitpunkt	240,08	240,08	240,71	239,21	0,44	0,36	**	0,16	*	0,44	**
Pflanzenlänge	86,42	86,83	86,54	88,04	2,62	-0,28	ns	4,64	**	-1,97	ns
Köpfchenfäule	2,67	2,63	1,96	3,08	0,33	0,20	**	0,00	ns	0,01	ns
Alternaria	2,42	2,17	2,17	2,42	0,29	0,01	ns	0,00	ns	0,00	ns
Fusarium	7,52	1,78	3,13	2,16	1,85	6,57	**	15,79	**	3,21	*
Ölgehalt	22,39	23,35	22,32	23,15	1,07	0,13	ns	1,45	**	0,86	*
EP-Ertrag	15,96	13,99	16,04	13,02	1,87	1,80	**	1,77	*	1,25	ns
TKG	34,28	33,79	35,29	33,1	0,89	0,76	**	0,07	ns	0,04	ns
Schalenanteil	60,08	59,51	61,15	58,71	2,79	0,10	ns	0,42	ns	-0,80	ns

^a Einheiten: Blühbeginn-Reifezeitpunkt: numerischer Tag, Pflanzenlänge: cm, Köpfchenfäule und Alternaria: Note, Fusarium: %, Ölgehalt: %, EP-Ertrag und TKG: g, Schalenanteil: % ^b Gö: Göttingen, Ho: Hohenheim, Wi: Wilmersdorf, ^c GD (0,05): Grenzdifferenz, ^d H: Herkunftsort, HxC: Interaktion zwischen Herkunftsort (H) und Kreuzung (C), HxO: Interaktion zwischen Herkunftsort (H) und Standort (O)

Einkornramschmethode

Für den Einkornramsch wurden pro Kreuzung 50 F2-Pflanzen im Gewächshaus bis zur F6 einzelpflanzenweise weitergeführt. Die F7-Pflanzen wurden in 2006 in Doppelreihen zusammen mit den Eltern an zwei Standorten angebaut.

In Göttingen sind im Mittel in der ersten Kreuzung 66,6%, in der zweiten 75,7% und in der dritten 70,7% der Pflanzen aufgelaufen. Am Standort Hohenheim war aus ungeklärten Gründen der Aufgang sehr schlecht (Kreuzung 1: 15,7%, Kreuzung 2: 15,8%, Kreuzung 3: 10,7%), sodass der Versuch dort nicht weitergeführt und ausgewertet werden konnte.

In Tabelle 16 sind die Daten der wichtigsten Merkmale für jede Kreuzung dargestellt. Der Elter 1 steht für die Mutter der Kreuzung (Kreuzung 1: AC Sunset, Kreuzung 2: Saffire, Kreuzung 3: Sabina) und der Elter 2 für den Vater (Kreuzung 1 und 2: CR1, Kreuzung 3: AC Sunset). Neben den Werten der Linien und Eltern sind die Anzahl der Linien, die besser waren als das Mittel der Eltern, und die Anzahl der Linien, die besser waren als der bessere Elter, aufgeführt. Insgesamt wurden 50 Linien getestet.

Beim Merkmal Köpfchenfäule waren deutliche Unterschiede zwischen den Kreuzungen festzustellen. Besonders in der ersten Kreuzung waren viele Linien weniger mit Köpfchenfäule befallen als das Elternmittel. Auch in der dritten Kreuzung war fast die Hälfte aller Linien besser. Nur eine Linie war in der zweiten Kreuzung weniger befallen. In dieser Kreuzung gab es keine Variation im Befall der Eltern. In allen drei Kreuzungen wiesen nur wenige Linien einen geringeren Befall auf als der bessere Elter.

Zahlreiche Linien zeigten geringeren Befall mit Alternaria-Blattflecken als das Elternmittel. In der Kreuzung 2 waren sogar 17 Linien besser als der bessere Elter.

Die Eltern zeigten kaum Fusariumbefall, eine Ausnahme bildete AC Sunset in der ersten Kreuzung. So waren in der zweiten und dritten Kreuzung nur wenige Linien geringer befallen als das Elternmittel und der bessere Elter. In der ersten Kreuzung waren fast alle Linien besser als das Elternmittel.

Die Werte für den Ölgehalt der Linien variierten stark. Viele Linien wiesen einen höheren Ölgehalt als das Elternmittel und als der bessere Elter auf. Die Kreuzung 3 zeigte im Linienmittel einen geringen Ölgehalt und beinhaltete auch nur wenige Linien, die über dem besseren Elter lagen.

Die Variation im EP-Ertrag der Linien war sehr groß. Zahlreiche Linien erreichten einen höheren EP-Ertrag als das Elternmittel, in der zweiten Kreuzung auch als der bessere Elter. AC Sunset war in der Kreuzung 1 stark von Krankheiten befallen, sodass hier nur ein sehr geringer EP-Ertrag festgestellt wurde. Durch diesen Wert war das Elternmittel niedrig und fast alle Linien lagen über diesem EP-Ertrag.

Die Anzahl der Linien, die ein höheres TKG als das Elternmittel aufwiesen, war in den Kreuzungen unterschiedlich. In der ersten Kreuzung waren es weniger, in der zweiten und dritten über die Hälfte aller Linien. In der Kreuzung 3 erreichte fast die Hälfte aller Linien ein höheres TKG als der bessere Elter.

Der Schalenanteil der Linien zeigte eine große Spannweite. Im Mittel wiesen die Linien und die Eltern der Kreuzung 3 den höchsten Schalenanteil auf. Hier lagen mehrere Linien unter dem Mittelwert der Eltern und dem Schalenanteil des besseren Elters.

Tabelle 16: Merkmalsdaten der 50 Linien und zwei Eltern pro Kreuzung

Merkmal	Linien				Eltern			Anzahl Linien besser als	
	Min.	Max.	Mittel	SD ^a	Elter 1	Elter 2	Mittel	Mittel Eltern	bessere Elter
Köpfchenfäule (Note)									
Kreuzung 1	1,97	4,69	3,25	0,56	4,97	2,79	3,88	41	2
Kreuzung 2	2,00	5,00	3,32	0,54	3,00	3,00	3,00	1	1
Kreuzung 3	1,92	4,95	3,14	0,72	1,95	4,06	3,01	20	2
Alternaria-Blattflecken (Note)									
Kreuzung 1	2,00	5,00	2,90	1,01	5,00	2,00	3,50	43	0
Kreuzung 2	1,53	5,23	2,96	0,97	5,15	2,69	3,92	43	17
Kreuzung 3	0,96	5,10	2,46	1,23	0,83	4,97	2,90	35	0
Fusarium (%)									
Kreuzung 1	0,00	15,38	1,32	4,84	25,00	0,00	12,50	47	0
Kreuzung 2	0,00	6,67	0,38	1,48	0,00	0,00	0,00	0	0
Kreuzung 3	0,00	6,78	0,43	1,76	0,28	0,28	0,28	6	6
Ölgehalt (%)									
Kreuzung 1	11,41	25,36	18,81	3,10	18,94	19,38	19,16	20	19
Kreuzung 2	9,99	25,60	19,72	3,31	20,57	20,26	20,42	22	22
Kreuzung 3	9,13	24,78	16,27	3,68	20,43	14,70	17,57	18	7
EP-Ertrag (g)									
Kreuzung 1	9,87	40,62	28,50	7,41	0,29	33,53	16,91	49	10
Kreuzung 2	15,02	57,38	29,22	7,19	28,23	28,91	28,57	25	24
Kreuzung 3	7,93	46,72	24,94	8,14	31,02	14,14	22,58	29	8
TKG (g)									
Kreuzung 1	22,60	32,90	28,11	3,11	25,00	34,30	29,65	15	0
Kreuzung 2	20,60	33,80	28,59	2,69	26,40	30,30	28,35	28	12
Kreuzung 3	20,00	34,60	26,84	3,15	27,60	24,20	25,90	31	23
Schalenanteil (%)									
Kreuzung 1	61,28	86,08	71,10	6,28	66,85	60,85	63,85	8	0
Kreuzung 2	54,56	80,51	66,99	6,56	65,70	59,31	62,51	13	7
Kreuzung 3	59,91	88,28	74,57	7,22	74,37	70,19	72,28	19	16

^a SD: Standardabweichung

Es konnten nur Versuchsdaten des Standortes Göttingen ausgewertet werden. Pro Linie und Elter wurde nur eine Doppelreihe mit 20 Achänen ohne Wiederholung ausgesät. Die Daten beinhalten folglich einen relativ hohen Versuchsfehler.

3.1.3. Untersuchungen zur Fremdbefruchtung

Fremdbefruchtung zwischen Parzellen

In der Mitte der untersuchten Parzelle kam es nur zu relativ geringer Fremdbefruchtung. Zwischen den beiden Rändern waren deutliche Unterschiede festzustellen. Im Rand 1, an den ein Saflorfeld grenzte, wurden mit 9,7% wesentlich geringere Fremdbefruchtungsraten beobachtet als im Rand 2, auf den nur eine Parzelle bestachelter Pflanzen folgte (Tabelle 17).

Tabelle 17: Fremdbefruchtung (%) zwischen Parzellen 2004

	Anzahl Nachkommen	bestachelte Nachkommen	Fremdbefruchtung (%)	Spannweite (%)
Rand 1	353	33	9,7	5,7-17,1
Mitte	382	25	6,5	0,0-11,5
Rand 2	259	47	18,1	8,3-33,3

Fremdbefruchtung innerhalb einer Parzelle

Die Fremdbefruchtungsraten innerhalb einer Parzelle waren wesentlich höher als die zwischen den Parzellen. In den beiden Versuchsjahren 2004 und 2005 waren sehr unterschiedliche Ergebnisse zu beobachten. Auch innerhalb der zehn untersuchten Pflanzen pro Jahr war die Spannweite sehr groß (Tabelle 18).

Tabelle 18: Fremdbefruchtung (%) innerhalb einer Parzelle 2004 und 2005

	Anzahl Nachkommen	bestachelte Nachkommen	Fremdbefruchtung (%)	Spannweite (%)
2004	372	219	63,1	39,8-87,1
2005	728	172	29,9	17,4-43,7

3.2. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse; Möglichkeiten der Umsetzung oder Anwendung der Ergebnisse für eine Ausdehnung des ökologischen Landbaus

Bei der Untersuchung der verschiedenen Züchtungsmethoden wurde festgestellt, dass es möglich ist, Linien mit geringerer Anfälligkeit für Köpfchenfäule und höherem Ölgehalt zu entwickeln. Durch natürliche Selektion wurden mit relativ geringem Arbeitsaufwand gute Erfolge erzielt. Der Befall mit Köpfchenfäule sank und der Ertrag stieg. Demnach ist es in der Saflorzüchtung sinnvoll, zunächst die F2- und F3-Generationen der natürlichen Selektion zu unterziehen. Erst danach sollten Nachkommen einzelner Pflanzen geprüft und selektiert werden. Hier sollte zunächst, neben der geringeren Krankheitsanfälligkeit, der Ölgehalt im Vordergrund stehen, da durch die natürliche Selektion keine Steigerung des Ölgehaltes erreicht wurde.

Bei der Selektion auf höheren Ölgehalt bietet NIRS eine gute Möglichkeit, eine große Anzahl Proben schnell und kostengünstig an intakten Achänen zu untersuchen. Anhand einer externen Validation kann festgestellt werden, ob sich die Kalibrationen der vorliegenden Arbeit für den zu untersuchenden Probensatz eignen. Gegebenenfalls sollte versucht werden, die Kalibrationen durch weitere Proben zu verbessern. Sollten dies nicht gelingen, so zeigen die Ergebnisse dieser Arbeit dennoch, dass es möglich ist, neue Kalibrationen für einen Probensatz zu entwickeln.

Die Ramschparzellen einzelner Kreuzungen sollten isoliert voneinander angelegt werden, da eine relativ hohe Fremdbefruchtungsrate ermittelt wurde. Ab der Prüfung von Nachkommen einzelner Pflanzen sollte geselbstetes Saatgut verwendet werden, um später homozygote Linien zu erhalten.

Allgemein zeigten die Untersuchungen, dass Saflor weniger für den Anbau an Standorten mit höheren Niederschlägen während der Blüte geeignet ist. Köpfchenfäule und *Alternaria*-Blattflecken traten hier verstärkt auf. Die geringe Keimfähigkeit stellte ein Problem dar. Teilweise wurde sie durch hohen Krankheitsbefall hervorgerufen.

Der Aufgang in Hohenheim 2006 im Vergleichsanbau der Einkornramschrunde war so gering, dass der Versuch nicht ausgewertet werden konnte. Das Saatgut stammte aus dem Gewächshaus, wo weder Köpfchenfäule noch starker *Alternaria*-Blattfleckenbefall beobachtet wurden. Der Grund für den schlechten Aufgang konnte nicht nachvollzogen werden. Für den Anbau von Saflor wäre es notwendig, die Ursachen für den unbefriedigenden Feldaufgang genauer zu untersuchen und zu beheben.

4. Zusammenfassung

Saflor (*Carthamus tinctorius* L.), eine der ältesten Kulturpflanzen der Welt, stammt vermutlich aus dem vorderen Orient. Die Färberdistel, wie Saflor auch genannt wird, wurde ursprünglich zum Färben von Stoffen und Lebensmitteln angebaut. Heute dient sie größtenteils der Ölgewinnung. Das Öl enthält bis zu 89% der ungesättigten Fettsäure Linolsäure und wird meist als Speiseöl verwendet. Der Ölgehalt variiert zwischen 20% und 45%. Die Hauptanbauggebiete sind Indien, Mexiko, USA, Argentinien, Australien und Äthiopien.

Auf nur etwa 2% der ökologisch bewirtschafteten Fläche werden in Deutschland Ölpflanzen kultiviert, wobei eine Nachfrage nach ökologisch erzeugtem Pflanzenöl existiert. Die Einführung von Saflor als Ölpflanze für den ökologischen Landbau könnte das Kulturpflanzenspektrum und die Fruchtfolge erweitern. Der Anbau von Saflor ist auch in Deutschland in sommerwarmen und -trockenen Regionen durchaus möglich. Da in Deutschland bisher jedoch fast keine Saflorzüchtung durchgeführt wurde, mangelt es an Genotypen, die an das Klima angepasst sind. Besonders der niedrige Ölgehalt und die hohe Krankheitsanfälligkeit sind problematisch.

Hauptziel des Vorhabens war es, methodische Grundlagen der Saflorzüchtung zu untersuchen und ein Konzept für die Züchtung vorzuschlagen. Hierfür sollten drei Züchtungsmethoden (Stammbaummethode, die Methode der natürlichen Selektion und die Einkornramschrsmethode) untersucht und bewertet werden. Die wichtigsten Zuchtziele waren ein höherer Ölgehalt und ein niedrigerer Krankheitsbefall. Da die Aussagen über die Fremdbefruchtungsrate bei Saflor laut Literatur zwischen unter 10% und je nach Umweltbedingungen bis zu 50% variierten, wurde die Fremdbefruchtung ebenfalls untersucht. Gleichzeitig sollte für die Züchtung eine Methode entwickelt werden, mit der Qualitätsmerkmale (Ölgehalt, Linolsäure- und Ölsäuregehalt und Schalenanteil) bei einer großen Anzahl Proben schnell und kostengünstig analysiert werden können.

Für die Qualitätsuntersuchungen wurde die Nah-Infrarot-Reflexions Spektroskopie (NIRS) gewählt. Es wurden Kalibrationen für die Merkmale Ölgehalt, Linolsäure- und Ölsäuregehalt und Schalenanteil an Mehl und intakten Achänen entwickelt. In die Kalibrationen flossen Proben aus den Jahren 2002 bis 2006 von vier verschiedenen Standorten ein. Die vier Standorte waren: Göttingen (südliches Niedersachsen), Hohenheim (Baden-Württemberg), Wilmersdorf (Brandenburg) und Darzau (nordöstliches Niedersachsen).

Das wichtigste Merkmal, der Ölgehalt, konnte mittels NIRS an intakten Achänen geschätzt werden. Die Werte der Referenzmethode (Soxhlet) zeigten eine enge Beziehung zu den NIRS-Werten (Bestimmtheitsmaß der Kalibration: $R^2 = 0,87$). Die Bestimmung des Ölgehaltes an Mehl lieferte exaktere Ergebnisse ($R^2 = 0,91$). Die Messung intakter Achänen bietet jedoch den Vorteil, dass das Saatgut weiterverwendet werden kann. Die Kalibrationen für den Linolsäure- und Ölsäuregehalt (Referenzmethode: Gaschromatographie) und den Schalenanteil waren weniger genau. Hier kann NIRS dazu dienen, eine Vorauswahl aus einer großen Anzahl Proben zu treffen, die anschließend im Labor untersucht werden. Der Schalenanteil war mit dem Ölgehalt eng negativ korreliert ($-0,83^{**}$). Da eine schnelle Bestimmung des Ölgehaltes möglich ist, verliert die Bestimmung des Schalenanteils an Wichtigkeit.

Die drei verschiedenen Züchtungsmethoden wurden von 2004 bis 2006 anhand von drei Kreuzungen, an denen vier Eltern beteiligt waren, untersucht. Im Vorfeld dieser Arbeit wurden im Jahr 2002 an das europäische Klima angepasste Genotypen mit kanadischen Genotypen mit hohem Ölgehalt gekreuzt. Die Grundlage für die Versuche dieser Arbeit war das Erntegut von jeweils 50 F₂-Pflanzen pro Kreuzung. In der Stammbaummethode wurde in den ersten beiden Jahren in Göttingen auf niedrigen Krankheitsbefall (Köpfchenfäule und Alternaria-Blattflecken) und Ölgehalt selektiert.

Für die Methode der natürlichen Selektion wurde für jede Kreuzung eine Mischung des gleichen Ausgangssaatgutes, das in der Stammbaummethode verwendet wurde, hergestellt und angebaut. Die Ramschparzellen unterlagen zwei Zyklen natürlicher Selektion an drei unterschiedlichen Standorten (Göttingen, Hohenheim, Wilmersdorf).

In der Einkornramschrsmethode wurde ein Nachkomme jeder F₂-Pflanze bis zur F₆ im Gewächshaus ohne Selektion weitergeführt.

In 2006 wurden die besten F5-Linien der Stammbaummethode und die F5-Ramschparzellen der natürlichen Selektion an vier Standorten (zusätzlich Darzau) geprüft. Durch den Vergleich mit einer unselektierten Kontrolle pro Kreuzung, die aus einer Mischung von Nachkommen der F6-Pflanzen aus der Einkornramschrsmethode bestand, wurde der Selektionserfolg beurteilt.

Die Selektion in der Stammbaummethode führte in allen Kreuzungen zu Linien mit geringerer Anfälligkeit für Köpfchenfäule und höherem Ölgehalt im Vergleich zur Kontrolle.

Mit geringerem Arbeitsaufwand führte die natürliche Selektion ebenfalls zu guten Erfolgen. Die Anfälligkeit für Köpfchenfäule sank, und der Einzelpflanzenertrag stieg in allen drei Kreuzungen. Der Ölgehalt wurde von der natürlichen Selektion nicht positiv beeinflusst. Für die Züchtung von Saflor wäre vorzuschlagen, zunächst die F2- und F3-Generationen der natürlichen Selektion auszusetzen. Anschließend sollten die Nachkommen von Einzelpflanzen geprüft und selektiert werden. Neben der geringeren Krankheitsanfälligkeit sollte der Ölgehalt im Vordergrund stehen, da durch die natürliche Selektion keine Steigerung des Ölgehaltes erreicht wurde.

Versuche zur Fremdbefruchtung innerhalb einer Parzelle wurden 2004 und 2005 in Göttingen durchgeführt. Die Fremdbefruchtung zwischen Parzellen wurde 2004 untersucht. Als Marker für die Fremdbefruchtung wurde die Bestachelung gewählt. Die Fremdbefruchtung zwischen Parzellen lag 2004 in der Mitte der Parzelle bei 6,5%. Wesentlich höher war sie zwischen Pflanzen innerhalb einer Parzelle. Hier wurden starke Unterschiede zwischen den Jahren festgestellt (2004: 63,1%; 2005: 29,9%). Bei der Entwicklung von Linien müssen daher Maßnahmen, wie Isolation oder Selbstungen, gegen die Auskreuzung getroffen werden.

5. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; Hinweise auf weiterführende Fragestellungen

5.1.1. Teilprojekt 1: Entwicklung von Schnellmethoden zur züchterischen Beurteilung von Qualitätseigenschaften

Es sollten Methoden zur Bestimmung von Ölgehalt, Fettsäuremuster und Schalenanteil mit Hilfe von NIRS entwickelt werden. Sowohl vermahlene als auch intakte Achänen sollten gemessen werden.

Für die Bestimmung des Ölgehaltes wurden Kalibrationen anhand vermahlener und intakter Achänen entwickelt. Die Kalibrationen waren ausreichend gut für die Selektion. Auch für die Merkmale Linolsäure- und Ölsäuregehalt und Schalenanteil wurden erfolgreich Kalibrationen für Mehl und intakte Achänen zur Vorauswahl von Proben entwickelt.

5.1.2. Teilprojekt 2: Vergleich verschiedener Ausleseverfahren

Drei Ausleseverfahren (Stammbaummethode, natürliche Selektion und Einkornramschrsmethode) sollten an drei Kreuzungen verglichen werden. Es sollten Linien mit verbessertem Ölgehalt und geringerer Krankheitsanfälligkeit entwickelt werden.

Die selektierten Linien wurden im Jahr 2006 in einem vergleichenden Anbau getestet. Die Stammbaummethode und die Methode der natürlichen Selektion konnten wie vorgesehen verglichen werden. Es konnte ein Konzept für die Züchtung von Saflor für den ökologischen Landbau vorgeschlagen werden. Gleichzeitig wurden Linien mit höherem Ölgehalt und niedrigerem Krankheitsbefall entwickelt.

Bei der Einkornramschmethode war der Aufgang aus ungeklärten Gründen in Hohenheim so schlecht, dass nur die Daten von dem Standort Göttingen auswertbar waren. Aus diesem Grund können zu dieser Züchtungsmethode keine endgültigen Aussagen gemacht werden.

Zusätzlich zum Vergleich der Auslesemethoden wurde die Fremdbefruchtungsrate genauer untersucht. Die Fremdbefruchtung war in den Jahren unterschiedlich hoch und weiterführende Untersuchungen an verschiedenen Standorten in mehreren Jahren wären notwendig, um die Bedeutung der Fremdbefruchtung für die Saflorzüchtung abschließend beurteilen zu können. Auf jeden Fall müssen bei der Entwicklung von Linien Maßnahmen wie Selbstungen oder Isolation ergriffen werden.

Die ursprünglich geplanten Ziele wurden erreicht. Es sind Schnellmethoden zur züchterischen Beurteilung von Qualitätseigenschaften verfügbar und es konnte ein Konzept für die Züchtung von Saflor für den ökologischen Landbau vorgeschlagen werden.

6. Literaturverzeichnis

- Biskupek-Korell, B., Rauschner P. und S. Eidner (2007): Entwicklung einer NIRS-Kalibration zur Bestimmung des Ölsäuregehalts an vermahlener Sonnenblumen Saat als qualitätssichernde Maßnahme bei Vermahlung und Verarbeitung von High-Oleic Sonnenblumen. In: UFOP-Schriften, in Vorbereitung
- Bergmann, J.W., D.E. Baldrige, P.L. Brown, A.L. Dubbs, G.D. Kushnak and N.R. Riveland (1987): Registration of 'Hartmann' safflower. *Crop Science* 27:1090-1091
- Bergmann, J.W., G. Carlson, G. Kushnak, N.R. Riveland and G. Stallknecht (1985): Registration of 'Oker' safflower. *Crop Science* 25: 1127-1128
- Bergmann, J.W., G. Carlson, G. Kushnak, N.R. Riveland, G. Stallknecht, L.E. Welty and D. Wichman (1989): Registration of 'Girard' safflower. *Crop Science* 29: 828-829
- Dajue, L. and H.H. Mündel (1996): Safflower, *Carthamus tinctorius* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 7. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), Rom, und Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK), Gatersleben.
- Fernández-Martínez, J., J. Dominguez Gimenez, A. Jimenez and L. Hernandez (1986): Use of the single seed descent method in breeding safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Plant Breeding* 97: 364-367
- Fernández-Martínez, J., M. del Rio and A. de Haro (1993): Survey of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) germplasm for variants in fatty acid composition and other seed characters. *Euphytica* 69: 115-122
- Frick, C. und T. Hebeisen (2005): Distelöl aus schweizer Saflor? *Agrarforschung* 12: 146-151
- Geisler, G. (1991): Farbatlas landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Ulmer Verlag, Stuttgart
- <http://www.fao.org>: Food and Agriculture Organization of the United Nations
- <http://www.vupt.cz>: Research Institute for Fodder Crops, Troubsko
- Johnson, R.C., J.W. Bergmann and C.R. Flynn (1999): Oil and meal characteristics of core and non-core safflower accessions from USDA collection. *Genetic Resources and Crop Evolution* 46: 611-618
- Knowles, P.F. (1969): Modification of quantity and quality of safflower oil through plant breeding. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 46: 130-132
- Knowles, P.F. (1976): Safflower. In: N.W. Simmons (Ed.), *Evolution in Crop Plants*: 31-33

- Knowles, P.F. (1989): Safflower. In: G. Röbbelen, R.K. Downey, A. Ashri (Ed.): Oil Crops of the World, their Breeding and Utilization. McGraw Hill, Inc., New York: 363-374
- Mündel, H.H. (1996): AC Sunset safflower. Canadian Journal of Plant Science 76: 469-472
- Mündel, H.H. and J.P. Braun (1999): Registration of two early-maturing safflower germplasm lines with high oleic acid and high oil content. Crop Science 39: 298-299
- Mündel, H.H., H.C. Huang, I.D. Burch and F. Kiehn (1985a): Saffire safflower. Canadian Journal of Plant Science 65: 1079-1081
- Mündel, H.H., H.C. Huang and G. Kozub (1985b): Scerotinia head rot in safflower: assessment of resistance and effects on yield and oil content. Canadian Journal of Plant Science 65: 259-265
- Pahlavani, M.H., A.F. Mirlohi and G. Saeidi (2004): Inheritance of flower colour and spininess in safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Heredity 95: 265-267
- Reinbrecht, C., S. Barth, S. von Witzke-Ehbrecht, M.A. Khan, H.C. Becker, G. Kahnt und W. Claupein (2003): Selektion anbauwürdiger Saflor-Formen für den Ökologischen Landbau aus einem zweijährigen Screening-Experiment. Mitteilung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 15: 23-26
- Reinbrecht, C., S. Barth, S. von Witzke-Ehbrecht, M.A. Khan, H.C. Becker, G. Kahnt, W. Claupein (2004): Evaluierung von Saflor-Akzessionen für den Ökologischen Landbau. Vorträge für Pflanzenzüchtung 62: 101-103
- Scheibe, A. (1939): Zucht- und Anbauerfahrungen mit Saflor (*Carthamus tinctorius* L.). Pflanzenbau 15: 129-159
- Scheibe, A. und E. Yekta (1934): Der Saflor, *Carthamus tinctorius* L., als Ölpflanze. Pflanzenbau 11: 49-67
- Shenk, J.S. and M.O. Westerhaus (1991): Population definition, sample selection, and calibration procedures for near infrared reflectance spectroscopy. Crop Science 31: 469-474
- SÖL (2003): SÖL-Jahrbuch 2003, Stiftung Ökologie und Landbau
- Utz, H.F. (2001): PLABSTAT. Ein Computerprogramm zur statistischen Analyse von pflanzenzüchterischen Experimenten. Institut für Pflanzenzüchtung, Saatgutforschung und Populationsgenetik der Universität Hohenheim
- Utz, H.F. (2005): PLABSTAT. Ein Computerprogramm zur statistischen Analyse von pflanzenzüchterischen Experimenten. Institut für Pflanzenzüchtung, Saatgutforschung und Populationsgenetik der Universität Hohenheim
- Velasco, L., A. Schierholt and H.C. Becker (1998): Performance of near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) in routine analysis of C18 unsaturated fatty acids in intact rapeseed. Fett/Lipid 100: 44-48

- Velasco, L., B. Pérez-Vich and J.M. Fernández-Martínez (1999): Non-destructive screening for oleic and linoleic acid in single sunflower achenes by near-infrared reflectance spectroscopy. *Crop Science* 39: 219-222
- Weiss, E.A. (2000): Oilseed crops. Chapter: Safflower. 2nd edition. Blackwell Science Ltd. Victoria, Australia: 93-129