

Schlussbericht

zum Vorhaben

Thema:

Verbundprojekt: Entwicklung von Linien mit höherem Ertrag und Ätherischölgehalt für sommerannuellen und winterannuellen Kümmel (*Carum carvi*) (BIOKUE-Linie)

Teilvorhaben 1: Erhöhung des Ertrages und des Ätherischölgehaltes von einjährigem Kümmel für den sommerannuellen und winterannuellen Anbau

Zuwendungsempfänger:

Julius Kühn-Institut, Quedlinburg

Förderkennzeichen:

2220NR103A

Laufzeit:

01.04.2021 bis 31.05.2024

Monat der Erstellung:

08/2024

Veröffentlichung (TIB):

26/08/2025

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMEL für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Inhaltsverzeichnis Schlussbericht

I	Ziele	2
1.	Aufgabenstellung.....	2
2.	Stand der Technik.....	3
2.1.	Nationaler und internationaler Anbau, Anbausysteme und Sorten von Kümmel.....	3
2.2.	Bestäubungssystem und Züchtungsmethodik von Kümmel	5
2.3.	Bedeutung und Genetik von Zuchtmerkmalen	6
2.4.	Literaturverzeichnis	9
3.	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	10
II	Ergebnisse.....	11
1.	Erzielte Ergebnisse	11
1.1.	Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse.....	11
1.1.1.	Züchtung für den winterannuellen Anbau	11
1.1.2.	Züchtung für den sommerannuellen Anbau	12
1.1.3.	Technische und molekulargenetische Arbeitspakete.....	12
1.2.	Ergebnisübersicht nach Arbeitspaketen	12
1.3.	Detaillierte Darstellung der Ergebnisse nach Arbeitspaketen	17
1.3.1.	AP A1: Prüfung & Selektion von F ₂ -Populationen aus der Kreuzung von ätherischölreichen Linien und der Sorte Aprim mit Winterhärte und festem Kornsitze (1. Intervall in 2020/2021).....	17
1.3.2.	AP A1: Prüfung & Selektion von F ₂ -Populationen aus der Kreuzung von ätherischölreichen Linien und der Sorte Aprim mit Winterhärte und festem Kornsitze (2. Intervall).....	19
1.3.3.	AP A2: Prüfung & Selektion der Folgegenerationen aus AP A1 (F _{4/2} -Generation in 2022/2023).....	20
1.3.4.	AP A3: Prüfung von vorselektierten Linien aus dem sommerannuellen Anbau für die Eignung im winterannuellen Anbau	22
1.3.5.	AP A5: Vergleich des winterannuellen Anbaus mit dem sommerannuellen Anbau	24
1.3.6.	AP B6: Mehrjährige Prüfung der Eigenleistung von Linien der 5. Inzuchtgeneration für den sommerannuellen Anbau und AP B8: Leistungstest Synthetischer Populationen (Syn1-Syn2) für den winterannuellen Anbau.....	30
1.3.7.	AP B9: Leistungstest von F ₁ -Hybrid-Populationen für den sommerannuellen Anbau	34
2.	Verwertung.....	36
3.	Erkenntnisse von Dritten	39
4.	Veröffentlichungen.....	39

Schlussbericht

I Ziele

Dieser Schlussbericht behandelt die Ziele und Ergebnisse des Teilvorhabens I des JKIs. Für die Ergebnisse der Praxisversuche des Teilvorhabens II verweisen wir auf den Schlussbericht der Junghanns GmbH.

1. Aufgabenstellung

Zentrales Ziel des Projektes war die Verbesserung der Anbauwürdigkeit von einjährigem Kümmel (*Carum carvi*) und damit langfristig die Ausdehnung der Anbauflächen in Deutschland, auch und insbesondere in Zeiten des Klimawandels. Dafür ist die Entwicklung leistungsstarker und ätherischölreicher Sorten für die pharmazeutische Anwendung erforderlich. Es sollte sowohl Zuchtmaterial für den sommerannuellen als auch den winterannuellen Anbau (Herbstaussaat) entwickelt werden.

Sommerannueller bzw. winterannueller Kümmel stellt mit der Abkehr von zweijährigem Anbau einen wesentlichen Schritt zur Steigerung der Effektivität der Produktionstechnologie dar. Sowohl der sommerannuelle als auch der winterannuelle Anbau erlauben eine einfache Integration in die Fruchtfolgen. Die Herbstaussaat ermöglicht zudem die Nutzung der Niederschläge zwischen Herbst und Frühjahr für Keimung und vegetatives Wachstum und führt zu einer früheren Blüte und Reife, wodurch der negative Einfluss von Trockenheitsperioden im Sommer reduziert wird. Tiefere Verwurzelung im Boden kann zudem mit einer höheren Trockenstresstoleranz einhergehen. **Die partielle Umstellung auf einen winterannuellen Anbau stellt somit eine wesentliche Anpassung an die klimatischen Veränderungen dar** und senkt das Anbaurisiko für die Landwirte. Bislang gibt es allerdings einschränkende Faktoren beim Anbau von einjährigem Kümmel. Diese liegen in der Leistungsfähigkeit des verfügbaren Sortenspektrums und betreffen die erzielbare Erntemenge und den Gehalt an ätherischem Öl der Kümmelfrüchte. Besonders der Ätherischölgehalt entscheidet über die Verwendbarkeit für die angestrebte pharmazeutische Nutzung oder für den Bereich Pflanzenschutzmittel. An diesen beiden Schwachpunkten sollte das Projekt ansetzen und durch züchterische Strategien aus einem verbesserten Genpool Formen auslesen, die in der Leistungsfähigkeit zweijährigen Kümmel übertreffen.

Vorläufig nur für die Züchtung sommerannueller Sorten sollten Synthetische Populationen entwickelt werden, um den 2019 erstmals für Kümmel festgestellten Heterosiseffekt zu nutzen. Dafür sollte die Eigenleistung und die allgemeine Kombinationseignung (GCA) für alle vielversprechenden JKI-

Inzuchtlinien aus einem Vorgängerprojekt ermittelt werden. **Die besten sommerannuellen Synthetischen Populationen sollten bei Projektende als Sorten in den Anbau überführt werden.**

Auch für den winterannuellen Anbau wird langfristig die Erzeugung Synthetischer Sorten angestrebt. **Im Projekt sollte die Vorselektion von Zuchtmaterial mit geeignetem Vernalisationsbedarf (Kältestimulus), einer guten Winterhärte, festem Kornsitz (reduziertes Abwerfen der Samen zur Reife) und einem hohen Ätherischölgehalt für den winterannuellen Anbau erfolgen.** Dieses Zuchtmaterial sollte die Grundlage legen, um in einer möglichen nächsten Phase Zuchtlinien mit fixierten genetischen Eigenschaften zu entwickeln, die zu ertragreichen Synthetischen Populationen zusammengestellt werden können.

Zusätzlich zur züchterischen Materialentwicklung sollte im Projekt **die Saatguterzeugung im Gewächshaus optimiert werden sowie der Einzelkornramsch (Single Seed Descent, SSD) als Methode zur schnellen Erzeugung hoch homozygoter Linien getestet werden.** Damit ist die Idee verbunden, in der weiteren Züchtung die Linienentwicklung deutlich zu beschleunigen.

Des Weiteren sollten für die Kreuzungen im Projekt **qPCR basierte genetische Marker für Kreuzungsnachweise entwickelt werden**, weil sich bei Kreuzungen im Kümmel Selbstbefruchtung nicht vollständig ausschließen lässt.

2. Stand der Technik

Die folgenden Angaben beruhen auf Internet-Recherchen insbesondere unter Nutzung von Web of Science sowie langjähriger Kommunikation mit Wissenschaftlern und Praxispartnern im Fachbereich.

2.1. Nationaler und internationaler Anbau, Anbausysteme und Sorten von Kümmel

Derzeit wird Kümmel auf 250 bis 400 ha angebaut (284 ha in 2014 (FNR 2014)), wobei sich größere Anbauflächen in Sachsen-Anhalt befinden. Damit kann der jährliche Kümmelbedarf in Deutschland für die Nutzung im Lebensmittel- und Arzneibereich von ca. 3.500 t nur zu ca. 10% gedeckt werden. In den Jahren sehr trockenen Jahren 2018, 2019, 2020 und 2022 kam es zuletzt zu erheblichen Ertragsverlusten (teils 80% Ertragsverlust gegenüber durchschnittlichen Jahren) im deutschen Kümmelanbau. Wichtige internationale Anbauggebiete liegen in Kanada, Finnland und im Baltikum. Aktuelle Zahlen aus Finnland legen nahe, dass auch die Hauptanbauggebiete vom Klimawandel betroffen sind: Laut Natural Resources Institute Finland (Luke) wurde 2023 in Finnland auf 17100 ha Kümmel angebaut (<https://www.luke.fi/en/statistics/utilised-agricultural-area/utilised-agricultural-area-2023-provisional>), aber lediglich ca. 5000 t geerntet (<https://www.luke.fi/en/news/cereal-potato-pea-and-caraway-production-in-2023-sufficient-to->

cover-domestic-consumption). Die Erträge lagen somit ähnlich wie in Deutschland bei $< 300 \text{ kg/ha}$. Eine vollständige Bedienung des deutschen Marktes über Importware ist somit riskant.

International wird Kümmel überwiegend als zweijährige Kultur mit Aussaat im Frühjahr des ersten Anbaujahres und Ernte im Sommer des darauffolgenden Jahres produziert. Der zweijährige Anbau ist aufgrund der kürzeren Vegetationszeit in Finnland notwendig und wird dort vor allem durch die milderen Winter und Extremwetterereignisse durch den Klimawandel erschwert (Andreas Heikkilä, pers. Kommunikation). Ähnliche Probleme existieren in Kanada (Alison Ferrie, pers. Kommunikation). Auch im ökologischen Anbau in Deutschland werden meist zweijährige Sorten verwendet, oft als Untersaat. Insgesamt sind zweijährige Sorten jedoch schwierig in die Fruchtfolge zu integrieren und haben für den Anbau in Deutschland zu hohe Produktionskosten. Aufgrund des sehr langsamen Wachstums ist die Unkrautbekämpfung im ersten Jahr ein weiteres Problem. Nichtsdestoweniger stellen die zweijährigen Ökotypen als in weiten Teilen Europas sowie Asiens heimischen Ökotypen einen Großteil des für die Züchtung verfügbaren Genpools. Der einjährige Kümmel kommt nur in Nordafrika und im Nahen Osten vor. Der Zugriff auf diesen Genpool ist stark eingeschränkt.

Seit Ende der 1980er Jahre sind „verschiedene einjährige Kümmelsorten gezüchtet worden: 'SKZ-1' (Ungarn 1987), 'Karzo' (Niederlande 1994), 'Springcar' (Niederlande 1998) und 'Sprinter' (Deutschland, Fa. N.L. Chrestensen, Erfurt 1999)“ (Bundessortenamt 2002). Nemeth nennt weiterhin 'CN-1' sowie 'Bi-An' (Israel) und 'Balady' (Ägypten) (Németh 1998). Mit der Einführung der einjährigen Kümmelsorte 'Sprinter' und der dazugehörigen Veränderung der Anbautechnologie ist ein erster Durchbruch in Richtung eines wirtschaftlichen Kümmelanbaues in Deutschland gelungen. Im Unterschied zu anderen einjährigen Kümmelsorten gelang es erstmals, einen Ätherischölgehalt von über 3 ml/100g in einzelnen Jahren zu erreichen. Allerdings befriedigt auch die Sorte 'Sprinter' im Hinblick auf die Ertragsleistung und Umweltstabilität des Ätherischölgehalts nicht. Um diese Defizite zu beheben, wurde in diesem Projekt sommerannuelles Zuchtmaterial für Synthetische Sorten entwickelt.

Im Zuge des Klimawandels stehen sowohl das zweijährige als auch das sommerannuelle Anbausystem unter Druck. Durch den Klimawandel ist gesichert von höheren durchschnittlichen Temperaturen und einer Zunahme von Hitzetagen auszugehen. Des Weiteren wird die Anzahl an Tagen mit kritischer Feldkapazität der Bodenfeuchte zunehmen. Dagegen nehmen Niederschlagssummen insbesondere im Winter zu (Umweltbundesamt 2019). Während beim zweijährigen Kümmel vor allem die Wasserverfügbarkeit zur Aussaat (Mai bis Juni) ein Problem ist, erschweren Trockenheit und Hitze während der Blüte und frühen Reife (Mai bis Juli) den sommerannuellen Anbau. Die frühe Blüte (Bestäubung der Hauptdolden) und die frühe Reifephase (Kornfüllung der Hauptdolden) sind von besonderer Bedeutung für die Ertragsbildung. Die partielle Umstellung auf winterannuellen Anbau stellt eine potentielle Lösung des Problems dar. Beim

winterannuellen Anbau wird im Spätsommer oder Herbst ausgesät. Die zu diesem Zeitpunkt mit hoher Wahrscheinlichkeit auftretenden Niederschläge können für die Keimung genutzt werden. Die Pflanzen blühen von April bis Mai bei mäßigen Temperaturen und die Ernte kann bereits zwischen Juli und August erfolgen. Selbst in Jahren mit einer Frühjahrstrockenheit können die Böden sowie die Speicherorgane des Kümmels im April und Mai meist noch Wasserreserven nachliefern. Trockenheit und relativ hohe Sonnenintensität in der späten Reife können sich sogar positiv auf Ertragsbildung und Qualität auswirken: Bei Trockenheit kommt es zu einer schnelleren und homogenen Abreife. Hohe Radiation in der späten Abreife kann laut Toxopeus and Lubberts (1994) den Ätherischölgehalt erhöhen.

Wichtigste Voraussetzung für den winterannuellen Anbau einer Sorte ist eine gute Winterhärte. Nach Prognosen zum Klimawandel werden die Temperaturen im Winter zwar durchschnittlich steigen und die Anzahl an Frosttagen wird abnehmen, Frostereignisse können aber immer noch mit derselben Intensität wie in der Vergangenheit auftreten. Derzeit eignet sich für den winterannuellen Anbau ausschließlich die 2014 in Tschechien registrierte Sorte 'Aprim' (Agritec Ltd., Sumperk). Die Sorte 'Aprim' hat zwar eine ausreichende Winterhärte, im Durchschnitt jedoch einen Ätherischölgehalt von deutlich unter 3 ml/100 g. Zweijährige Sorten eignen sich nicht für den winterannuellen Anbau, da sie vor dem Winter eine ausreichende Größe für die Vernalisation erreichen müssen, um im nächsten Jahr blühen zu können. Bei einjährigen Sorten wurde eine unzureichende Winterhärte festgestellt (s. Abschlussbericht zu FNR 22023215). Wenige JKI-Inzuchtlinien zeigten eine mittlere Winterhärte, die auf Einkreuzung zweijähriger Akzessionen in älteren Züchtungsprogrammen zurückzuführen ist. Diese Linien sind aufgrund diverser Mängel nicht ausreichend, um einen Genpool für ein winteranneuelles Zuchtprogramm zu konstituieren. Daher wurden im Projekt Neukreuzungen zwischen ätherischöl-reichen JKI-Linien und der Sorte Aprim durchgeführt.

2.2. Bestäubungssystem und Züchtungsmethodik von Kümmel

Kümmel hat ein gemischtes Bestäubungssystem mit dominierender Fremdbefruchtung. Die Protandrie (Antheren reifen und sterben ab, bevor die Stigmata reifen) verhindert zwar weitgehend Bestäubung innerhalb derselben Dolde, Bestäubung kann aber zwischen Dolden derselben Pflanze in unterschiedlichen Stadien stattfinden (Pank 2012). Auch bei offener Blüte wurde eine durchschnittliche Selbstungsrate von 33% im Polycross festgestellt (von Maydell et al. 2020). Für alle bisher verwendeten Genotypen konnte Saatgut durch Selbstung erzeugt werden. Selbstinkompatibilitätsmechanismen sind nicht bekannt,

Die zu bevorzugende Züchtungsmethode für Kümmel ist die Populationszüchtung. Wie in vorherigen Projekten festgestellt, führt die Inzuchtierung in unterschiedlichem Ausmaß zu Inzuchtdepression (von Maydell et al. 2021). Folglich ist die Linienzüchtung *per se* ungeeignet. Eine Hybridzüchtung ist derzeit nicht möglich, weil für Kümmel kein System zur Bestäubungslenkung (wie

cytoplasmatische männliche Sterilität, CMS) vorhanden ist. Als spezielle Methode der Populationszüchtung wird die Züchtung Synthetischer Sorten für Kümmel angestrebt, um eine gezielte Nutzung des Heterosis-Effektes zu ermöglichen. Eine Synthetische Sorte wird durch Auskreuzung mehrerer Komponenten (hier Inzuchtlinien) erzeugt und kann jederzeit wieder neu durch diese Linien erzeugt werden (Becker 1988). Dafür bedarf es einer Erhaltungszüchtung dieser Linien. Generell kann Inzuchtierung bei Kümmel im Züchtungsverlauf gut eingesetzt, um den Homozygotiegrad zu erhöhen und um gewünschte Merkmalsausprägungen genetisch zu fixieren. Lediglich im finalen Züchtungsschritt sollte eine Auskreuzung stattfinden.

Kümmel hat im Vergleich zu vielen Hauptkulturen ein sehr langsames Wachstum. Im Gewächshaus können unter idealen Bedingungen derzeit maximal zwei Generationen im Jahr abgeschlossen werden. Beschleunigte Verfahren zur Linienentwicklung im Sinne des Speed Breeding (z.B. Single Seed Descent, SSD) wurden im Projekt FNR2220NR103 erstmalig getestet konnten bisher aber nicht etabliert werden. Die Entwicklung von Doppelhaploiden (DHs) ist zwar möglich (Ferrie et al. 2011; Smykalova et al. 2009), aber genotypen-abhängig und nicht effizient. Aus diesen Gründen fehlen derzeit Ansätze zur beschleunigten Linienentwicklung in den Züchtungsprogrammen. Stattdessen ist es derzeit effektiver in jeder Generation Selektionen durchzuführen, zumal im winterannuellen Züchtungsprogramm nicht in jedem Jahr gute Selektionsbedingungen für Winterhärte gegeben sind.

Molekulargenetische Methoden wurden für Kümmel bisher nur geringfügig adaptiert. Drei Arbeiten analysierten jeweils eine geringe Zahl von Akzessionen mit sogenannten RAPD-Markern (Bocianowski and Seidler-Lozykowska 2012; Laribi et al. 2011; Seidler-Lozykowska et al. 2014). RAPD-Marker werden zwar für kleinere Kulturarten gelegentlich noch genutzt, haben aber eine schlechte Reproduzierbarkeit und können kaum in Züchtungsprogrammen genutzt werden. Die aktuell in Analyse befindlichen Marker des JKI wurden auf Basis eines GBS ermittelt. GBS ist eine moderne Methode der Sequenzierung mit Genomreduktion durch Restriktionsenzyme, bei der auch für Arten ohne Referenzgenom (wie bei Kümmel) eine Vielzahl von Akzessionen/Zuchtlinien kostengünstig genotypisiert werden können (Elshire et al. 2011).

2.3. Bedeutung und Genetik von Zuchtmerkmalen

Wichtige qualitative Merkmale mit mutmaßlich monogener Vererbung sind der Vernalisationsbedarf und der Kornsitze (inkl. Stielchenbesatz). Bei allen weiteren im Projekt relevanten Merkmalen handelt es sich um quantitative Merkmale mit polygener Vererbung.

A) Vernalisationsbedarf:

Die Notwendigkeit über den gewissen Zeitraum einen Kältestimulus zu empfangen (Vernalisationsbedarf) verhindert bei zweijährigen Ökotypen, dass es im Jahr der Keimung zur Blühinduktion kommt. Der Kältestimulus (ca. 5°C) muss mindestens 2 Wochen andauern (Németh 1998). Um diesen Kältestimulus empfangen zu können, müssen alle bisher untersuchten zweijährigen Sorten einen Minstdurchmesser des Wurzelhalses von 7 mm vor dem Winter entwickeln (Pank 2012). Daher müssen zweijährige Sorten spätestens im Mai oder Juni ausgesät werden und kommen für den winterannuellen Anbau nicht infrage. Laut Literatur wird der Vernalisationsbedarf monogen vererbt. Einjährigkeit (fehlender Vernalisationsbedarf) ist dominant (Németh et al. 1999).

B) Kornsitze und Stielchenbesatz:

Das Abwerfen von Körnern bei Reife (engl. Seed Shattering) entspricht dem natürlichen Verbreitungsmechanismus des Kümmels. Im Anbau kann ein solcher loser Kornsitze jedoch zu erheblichen Ertragsausfällen führen, wenn aufgrund ungünstiger Witterungsbedingungen keine rechtzeitige Ernte stattfinden kann (Toxopeus 1998). Während bei den Hauptkulturen Sorten mitlosem Kornsitze im großflächigen Anbau undenkbar sind, haben tatsächlich die meisten Kümmel-Sorten einen losen Kornsitze mit entsprechendem Anbaurisiko. In Anbauregionen mit historisch konstant milden Erntebedingungen wie in Sachsen-Anhalt war diese Eigenschaft langezeit kein großes Problem. Mit zunehmender Häufigkeit von Extremwetterereignissen (Umweltbundesamt 2019) steigt das Risiko jedoch. Ein niederländisches Züchtungsprogramm zur Selektion einer Sorte mit festem Kornsitze (non-shattering) ist in der Literatur beschrieben (Toxopeus 1998). Die Evaluierung 2018-2020 im Projekt FNR22023215 konnte für die niederländischen Sorten Bleija und Mansholts sowie für die tschechischen Sorten Rekord und Aprim einen festen Kornsitze bestätigen. Der Kornsitze ist laut Literatur monogen vererbt, wobei fester Kornsitze dominant ist (van Roon and Bleijenberg 1964). Die Festigkeit des Kornsitzes ist nicht unbegrenzt, sodass es bei Vollreife und trockenen Bedingungen auch bei Pflanzen mit festem Kornsitze in reduziertem Maße zum Samenabwurf kommt. van Roon and Bleijenberg (1964) geben morphologische Unterschiede im Abzissionsbereich zwischen Blütenstiel und Frucht an, die gegebenenfalls zusätzlich zur händischen Phänotypisierung (Ziehen an den Früchten) zur sicheren Bonitur des Kornsitzes genutzt werden kann.

C) Winterhärte:

In bisherigen Versuchen wurde Winterhärte als verallgemeinerter Begriff stets als Winterüberlebensrate von Ende November bis Ende März erhoben. Der Einfluss von Spätfrösten nach März war bisher nicht gravierend und wurde nicht erhoben. Die Winterüberlebensrate wird von

verschiedenen physiologischen und morphologischen Merkmalen der Genotypen und verschiedenen Umweltfaktoren beeinflusst. Diese Faktoren ließen sich nur durch detaillierte Studien auseinanderdifferenzieren. Grundsätzlich lässt sich sagen, dass einjährige Genotypen bei anhaltenden Temperaturen von $< 5^{\circ}\text{C}$ vollständig absterben. Die winterannuelle Sorte Aprim erreichte in Versuchen in Abhängigkeit vom Winter eine Winterüberlebensrate zwischen 65 und 100%. Durch erhöhte Aussaatmengen können Ertragsausfälle in härteren Wintern ausgeglichen werden. Als nachteilig ergeben sich daraus allerdings Schwankungen in der Bestandsdichte mit möglichen Schwankungen in der Qualität des Ernteguts. Zweijährige Genotypen sind grundsätzlich im zweijährigen Anbausystem als winterhart einzustufen. Es gibt aber keine Untersuchungen dazu, wie sich zweijährige Genotypen bei einer Herbstaussaat verhalten.

Neben Auswinterungen durch Frostereignisse wurden starke Auswinterungen bei milden Temperaturen nach Frostgare beobachtet. Hierbei reißt trockener Boden nach Frösten auf und nicht ausreichend etablierte Pflanzen werden bei Sturm aus dem Boden gezogen und vertrocknen. Dieses Phänomen könnte durch schnell und stark verwurzelnde Genotypen und durch agrotechnologische Maßnahmen abgemildert werden. Aus den Winterungen bei Getreide ist hier z.B. Anwalzen des Bodens zu nennen. Frühe Aussaat könnte bei geeigneten Witterungsbedingungen durch Verlängerung der Vegetationszeit und damit besserer Verankerung im Boden ebenfalls die Winterüberlebensrate erhöhen. Die optimale Technologie muss gegebenenfalls ortspezifisch ermittelt werden.

D) Ätherischölgehalt:

Aufgrund der Vorgaben des Ph. Eur. ist der Ätherischölgehalt das wichtigste Qualitätsmerkmal in der Kümmelzüchtung. Durch Züchtungsbemühungen, die bis in die 90er Jahre zurückführen, sind im einjährigen JKI-Zuchtmaterial viele Linien mit hohem Ätherischölgehalt vorhanden. Das Europäische Arzneibuch Ph. Eur. (Ph. Eur. 2020; Ph.Eur. 2020) fordert für Kümmelfrüchte einen Gehalt von mindestens 3 ml/100 g ätherisches Öl der ganzen getrockneten Teilfrüchte berechnet auf die wasserfreie Droge mit einem an Carvon erinnernden Geruch. Kümmelöl ist das aus den trockenen Früchten von *Carum carvi* L. durch Wasserdampfdestillation gewonnene Öl. Im Unterschied zur pharmazeutischen Nutzung müssen Kümmelfrüchte für den Einsatz im Lebensmittelbereich lediglich 1,5 - 2,5 ml/100 g ätherisches Öl enthalten (ISO 5561). Das ätherische Öl des Kümmels besteht überwiegend aus Carvon (50 bis 65%) und Limonen (35 bis 45%) (Bailer et al. 2001). Carvon ist biologisch hochwirksam. Eine fungizide Wirkung wurde für die an Kartoffel (*Solanum tuberosum* L.) auftretenden Phytopathogene *Fusarium sulphureum*, *Phoma exigua* var. *foveata* und *Helminthosporium solani* bestätigt (Pank 2012). Gemeinsam mit den antibiotischen Eigenschaften ist die Hemmung des Stolonenaustriebes aus gelagerten Knollen der Kartoffel von besonderer Bedeutung (Cizkova et al. 2000). Im Gegensatz zu synthetisch hergestellten Mitteln zum sog.

Keimstopp der Kartoffel ist dieser Effekt bei der Verwendung von Carvon reversibel. Hieraus resultiert die Nutzbarkeit von Carvon in der Pflanzkartoffellagerung.

2.4. Literaturverzeichnis

- Bailer J, Aichinger T, Hackl G, de Hueber K, Dachler M (2001) Essential oil content and composition in commercially available dill cultivars in comparison to caraway. *Industrial Crops and Products* 14:229-239 [https://doi.org/10.1016/s0926-6690\(01\)00088-7](https://doi.org/10.1016/s0926-6690(01)00088-7)
- Becker HC (1988) Breeding synthetic varieties of crop plants. *Plant Genetics and Breeding Review*:31-54
- Bocianowski J, Seidler-Lozykowska K (2012) The relationship between RAPD markers and quantitative traits of caraway (*Carum carvi* L.). *Ind Crops Prod* 36:135-139 <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.08.019>
- Bundessortenamt (2002) Beschreibende Sortenliste Arznei- und Gewürzpflanzen. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Hannover
- Cizkova H, Vacek J, Voldrich M, Sevcik R, Kratka J (2000) Caraway essential oil as potential inhibitor of potato sprouting. *Rostlinna Vyroba* 46:501-507
- Elshire RJ, Glaubitz JC, Sun Q, Poland JA, Kawamoto K, Buckler ES, Mitchell SE (2011) A Robust, Simple Genotyping-by-Sequencing (GBS) Approach for High Diversity Species. *Plos One* 6:10 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019379>
- Ferrie AMR, Bethune TD, Mykytyshyn M (2011) Microspore embryogenesis in Apiaceae. *Plant Cell Tissue Organ Cult* 104:399-406 <https://doi.org/10.1007/s11240-010-9770-0>
- FNR (2014) 2011, Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe vol 34. Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe. FNR, Gülzow
- Laribi B, Zoghلامي N, Lamine M, Kouki K, Ghorbel A, Mougou A (2011) RAPD-based assessment of genetic diversity among annual caraway (*Carum carvi*) populations. *Eurasian J Biosci* 5:37-47
- Németh É (1998) Introduction. In: Nemeth E (ed) *Caraway The Genus Carum*, vol 7. Medicinal and Aromatic Plants - Industrial Profiles. harwood academic publishers, Amsterdam, pp 1-8
- Németh É, Bernáth J, Petheô F (1999) Study on flowering dynamic and fertilization properties of caraway and fennel. *Acta Horti* 502:77-84 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1999.502.9>
- Pank F (2012) Kümmel (*Carum carvi* L.). In: Hoppe B (ed) *Handbuch des Arznei- und Gewürzpflanzenanbaus*, vol 4. Verein für Arznei- und Gewürzpflanzen SALUPLANTA e.V., Bernburg, pp 728-762
- Ph. Eur. (2020) Kümmel *Carvi Fructus*. In: *Europäisches Arzneibuch*, vol 10. p 2270
- Ph.Eur. (2020) Ätherische Öle in pflanzlichen Drogen. In: *Europäisches Arzneibuch*, vol 10. pp 430-432

- Seidler-Lozykowska K, Kuczynska A, Mikolajczyk K, Nowakowska J, Bocianowski J (2014) Estimation of genetic distance among genotypes of caraway (*Carum carvi* L.) using RAPD-PCR. *Acta Sci Agron* 36:183-188 <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v36i2.18197>
- Smykalova I, Smirous P, Kubosiova M, Gasmanova N, Griga M (2009) Doubled haploid production via anther culture in annual, winter type of caraway (*Carum carvi* L.). *Acta Physiologiae Plantarum* 31:21-31 <https://doi.org/10.1007/s11738-008-0195-x>
- Toxopeus H (1998) A century of breeding caraway in the Netherlands. In: Németh É (ed) *Caraway The Genus Carum*, vol 7. *Medicinal and Aromatic Plants - Industrial Profiles*. hardwood academic publishers, Amsterdam, pp 105-128
- Toxopeus H, Lubberts HJ (1994) Effect of genotype and environment on carvone yield and yield components of winter-caraway in the Netherlands. *Ind Crops Prod* 3:37-42 [https://doi.org/10.1016/0926-6690\(94\)90076-0](https://doi.org/10.1016/0926-6690(94)90076-0)
- Umweltbundesamt (2019) Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Kempten
- van Roon E, Bleijenberg HJ (1964) BREEDING CARAWAY FOR NON-SHATTERING SEED. *Euphytica* 13:281-+ <https://doi.org/10.1007/bf00023109>
- von Maydell D, Brandes J, Lehnert H, Junghanns W, Marthe F (2020) Breeding synthetic varieties in annual caraway: observations on the outcrossing rate in a polycross using a high-throughput genotyping system. *Euphytica* 217:1 <https://doi.org/10.1007/s10681-020-02732-5>
- von Maydell D, Stache A-M, El Menuawy A, Gemmer MR, Hähnel U, Junghanns W, Marthe F (2021) On heterosis, inbreeding depression and general combining ability in annual caraway (*Carum carvi*). *Euphytica* 217:163 <https://doi.org/10.1007/s10681-021-02893-x>

3. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Planung und Durchführung der Versuche dieses Teilvorhabens erfolgte weitgehend im Institut für Züchtungsforschung an gartenbaulichen Kulturen (ZG) des Julius Kühn-Instituts (JKI). Eine enge Zusammenarbeit gab es hierbei mit der Dr. Junghanns GmbH (Aschersleben), die auch ein eigenes Teilvorhaben durchgeführt hat. Weitere Projektpartner aus dem Praxisanbau waren die BBG Kilian-Horsch GbR (Aschersleben OT Mehringen), die Horrmann GbR (Bördeland OT Welsleben) und der Landwirtschaftsbetrieb Hans-Eckhard Kittler (Aschersleben).

II Ergebnisse

1. Erzielte Ergebnisse

Der Ergebnisteil ist in 3 Abschnitte aufgeteilt. Im ersten Teil benennen wir in Kürze die wichtigsten Ergebnisse. Im zweiten Abschnitt stellen wir die gemäß Vorhabensbeschreibung im Projekt vorgesehenen Arbeitspakete des JKIs und den zum Projektende erreichten Bearbeitungsstand zusammengefasst dar. Im dritten Abschnitt sind einige Ergebnisse des Projektes detailliert erörtert. Zur Orientierung sind die Arbeitspakete zum winterannuellen Anbau in Grün und zum sommerannuellen Anbau in Rot hinterlegt. Diese Farbgebung wird auch in den Grafiken fortgeführt. Molekulargenetische und technische Arbeitspakete sind Weiß belassen

1.1. Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

1.1.1. Züchtung für den winterannuellen Anbau

Bei einem Vergleich von Septemбераussaat mit einer Märzaussaat im Leistungstest konnte erstmalig das Potential zur Reduktion des Anbaurisikos durch die Herbstsaat gezeigt werden. Während die Märzaussaat im trockenen Jahr 2022 sehr geringe Erträge lieferte, konnten bei der Herbstsaat hohe Erträge erzielt werden. In Jahren mit guten Niederschlägen wie 2023 waren dagegen Winterung und Sommerung annähernd gleichwertig.

Durch Kreuzung von ätherischölreichen Linien mit einer winterharten Sorte konnten erfolgreich 19 Populationen erzeugt werden, die beide Merkmale kombinieren. Zum derzeitigen Zeitpunkt haben vier Selektionen auf Winterhärte und drei Selektionen auf höheren Ätherischölgehalt stattgefunden. Eine Population erreicht für beide Merkmale bereits das angestrebte Selektionsziel.

Als Übergangslösung können Synthetische Populationen aus Linien mit mittlerer Winterhärte winterannuell angebaut werden. Hierbei ergibt sich allerdings ein moderates bis größeres Anbaurisiko. Die Linien mit mittlerer Winterhärte haben meist einen mittleren Ätherischölgehalt. Testweise erstellte Populationen wurden 2021/2022 in Parzellen erstmalig zu verschiedenen Aussaatzeitpunkten geprüft. Bei einer Septemбераussaat wurden deutlich höhere Erträge als bei der Märzaussaat erzielt. Die Populationen erreichten zwar höhere Gehalte an ätherischem Öl als die Sorte Aprim, jedoch war der Ätherischölgehalt insgesamt auf einem niedrigen Niveau ($< 3 \text{ ml/100g}$).

1.1.2. Züchtung für den sommerannuellen Anbau

Es konnten einige Linien mit hohem Ätherischölgehalt und moderater Inzuchtdepression entwickelt werden. 10 Linien sind als besonders wertvoll einzuschätzen. Aus diesen Linien wurden Synthetische Populationen aufgebaut, die 2022 als Syn1 und 2023 als Syn2 getestet wurden. Diese zeigten höhere Erträge als die Inzuchtlinien und höhere Erträge sowie einen höheren Ätherischölgehalt als die aktuellen Sorten im sommerannuellen Anbau Sprinter und Ines.

1.1.3. Technische und molekulargenetische Arbeitspakete

Ein SSD-Verfahren für Kümmel konnte aufgrund von erheblichen Problemen mit der Fertilität von Kümmel unter Stressbedingungen nicht etabliert werden. Ein intensiverer Ressourceneinsatz wäre nötig als im Projekt möglich war. Die Einstellungen im Gewächshaus zur Verbesserung des Samenansatzes bei Vermehrungen konnten hingegen optimiert werden. 21 funktionale PACE-Marker konnten erstellt und im Projekt zielführend für Kreuzungsnachweise eingesetzt werden.

1.2. Ergebnisübersicht nach Arbeitspaketen

Tab.1 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse nach Arbeitspaketen.

Arbeitspakete (AP)	Bearbeitungsstand
AP A1 Prüfung & Selektion von F ₂ -Populationen aus der Kreuzung von ätherischöl-reichen Linien und der Sorte Aprim mit Winterhärte und festem Kornsatz	Erstes Intervall: 11 F ₂ -Populationen aus Kreuzungen zwischen 11 verschiedenen ätherischölreichen Linien und der winterharten Sorte Aprim konnten 2020 im vorherigen Projekt erzeugt und im Feld etabliert werden. Diese konnten 2021 bewertet werden. Alle F₂-Populationen zeigten eine höhere Winterhärte als die Sorte Sprinter sowie einen höheren Ätherischölgehalt als der Vater Aprim. Zweites Intervall: 8 weitere F ₂ -Populationen wurden erzeugt und im Winter 2022/2023 erstmalig geprüft. Damit soll die Diversität des Zuchtmaterials für den winterannuellen Anbau im Hinblick auf die spätere Entwicklung von Synthetischen Sorten erhöht werden. Erwartungsgemäß zeigten die meisten nachrückenden F ₂ -Populationen eine geringere Winterhärte als die selektierten Populationen, aber eine höhere Winterhärte als die Sorte Sprinter sowie einen höheren Ätherischölgehalt als der Vater Aprim. Weitere Selektionen auf Winterhärte und höheren Ätherischölgehalt sollen folgen.
AP A2 Prüfung & Selektion der Folge-Generationen aus AP A1 (F ₃ -F ₅)	Erstes Intervall: Von den 11 ursprünglichen F ₂ -Populationen wurden 9 Populationen als wertvoll erachtet und bis zur F ₅ -Generation weiter selektiert. Die Ableitung von Inzuchtlinien zur finalen Entwicklung von sortenfähigem

	Material mit fixierten Merkmalseigenschaften kann in einem Folgeprojekt erfolgen. Zweites Intervall: Die 8 weiteren Populationen erreichen im Projekt die F₃-Population. Es wird empfohlen diese in einem Folgeprojekt bis zur F₄ weiterzuentwickeln und dann bereits Inzuchtlinien wie im ersten Intervall abzuleiten.
AP A3 Prüfung von vorselektierten Linien aus dem sommerannuellen Anbau für die Eignung im winterannuellen Anbau	Mehrere Linien, die für den sommerannuellen Anbau entwickelt wurden, zeigten im vorherigen Projekt eine mittlere Winterhärte. Diese Linien wurden in den Wintern 2020/21 und 2021/22 nochmals getestet, um ihr Potential für den winterannuellen Anbau weiter zu evaluieren. Alle Linien zeigten einen höheren Ätherischölgehalt als die winterharte Sorte Aprim. Insgesamt sind die Werte für den Ätherischölgehalt jedoch eher mittelmäßig. 7-10 Linien können auf Basis der mehrjährigen Daten in Betracht gezogen werden, um kurzfristig Synthetische Populationen für den winterannuellen Anbau zu erzeugen, langfristig sollte aber besser adaptiertes Zuchtmaterial in den winterannuellen Anbau gebracht werden. .
AP A4 Evaluierung der AP A1-A3	Das Zuchtmaterial aus Neukombination (AP A1 /A2) stellt langfristig die geeignetste Grundlage für den winterannuellen Anbau dar. Geeignetes Ausgangsmaterial für die Selektion von Zuchtmaterial für den winterannuellen Anbau konnte erfolgreich durch Neukombination erstellt werden. Die Entwicklung von Sorten aus diesem Kreuzungs-Material bedarf weitere Jahre der Selektion zur genetischen Fixierung der wertvollen Eigenschaften. Kurzfristig können Synthetische Populationen aus Linien entwickelt werden, die aus dem sommerannuellen Züchtungsprogramm stammen und eine mittlere Winterhärte gezeigt haben. Der winterannuelle Anbau dieses Materials stellt aber ein Risiko dar, weil es in harten Wintern zu Totalausfällen kommen kann.
AP A5 Vergleich des winterannuellen Anbaus mit dem sommerannuellen Anbau	Daten aus dem trockenen Jahr 2021/2022 zeigten deutlich höhere Erträge bei der Herbstaussaat im September in Quedlinburg im Vergleich zur Frühjahrssaat Ende März. Daten aus dem sehr feuchten Jahr 2022/2023 hingegen zeigten ähnliche Erträge bei beiden Aussaatzeitpunkten. Somit wurde erstmals das Potential der Winterung zur Ertragssicherung in trockenen Jahren gezeigt. Die Sommerung behält ihre Berechtigung in Jahren mit guten Niederschlagssummen. Die Beobachtungen im trocken Jahr 2021/2022 sind von besonderem Wert für die Einschätzung der Winterung: Ein multifaktorieller Leistungstest wurde angelegt, der 2022 geerntet und ausgewertet wurde. Als Hauptfaktoren wurden 3 Aussaatzeitpunkte (September, Oktober und März) verglichen. Als Subfaktoren wurden 3 Aussaatstärken (50, 100 und 200 Korn/m²) und 4 Genotypen bewertet. Am Standort

	Quedlinburg zeigten die Pflanzen bei allen Aussaatzeitpunkten ein gutes Auflaufverhalten. Die Pflanzen der Oktoberaussaat entwickelten im Mittel 1 Laubblatt bis Dezember, jedoch starben diese Pflanzen größtenteils im Februar nach mehreren Stürmen bei durch Trockenheit und Kälte offener Bodenkruste ab (Hochfrieren). Hingegen starben die Pflanzen noch nicht nach starken Frostnächten (bis -16°C) im Dezember. Die im September ausgesäten Pflanzen entwickelten bis Dezember im Mittel 3 Laubblätter und zeigten keine Frostschäden und nur reduzierte Verluste durch Hochfrieren. Daher ist zu vermuten, dass die Aussaat im winterannuellen Anbau auch bei winterharten Genotypen zeitig im September erfolgen sollte, damit sich die Pflanzen ausreichend etablieren können. Alle Genotypen erzielten bei der Septembraussaat gute Erträge, während es bei der Märzsaat nahezu zum Ertragsausfall kam.
AP B6 Mehrjährige Prüfung der Eigenleistung von Linien der 5. Inzuchtgeneration für den sommerannuellen Anbau	Nach zwei Testjahren sind 10 Linien, die ein gutes Ertragsniveau und einen hohen Ätherischölgehalt aufweisen, als besonders wertvoll einzuschätzen. Das Material zur Zusammenstellung der Synthetischen Sorten für den Praxisanbau kann somit final selektiert werden; AP ist damit abgeschlossen. Insgesamt 20 aus dem vorherigen Projekt selektierte Linien wurden 2021 in Leistungspartzellen in 4 Wiederholungen getestet. Die meisten Linien hatten einen deutlich höheren Ätherischölgehalt (höchste Werte bei 5,6 %) als die Sorte Sprinter. Wie auch andere Sorten (Aprim und Ines) erreichte Sprinter 2021 nicht die erforderlichen 3% Ätherischölgehalt. Dies belegt die Notwendigkeit Sorten mit konstant höheren Ätherischölgehalt zu erzeugen. Erwartungsgemäß erreichten die Inzuchtlinien nicht den Ertrag der Populationssorte Sprinter. Linien mit massiver Inzuchtdepression konnten jedoch erfolgreich ausselektiert werden. Insgesamt sind derzeit 10 Linien, die ein gutes Ertragsniveau und einen hohen Ätherischölgehalt aufweisen, als besonders wertvoll einzuschätzen. Die meisten Linien wurden 2022 erneut geprüft. Das Ertragsniveau war äußerst gering, während der Ätherischölgehalt ungewöhnlich hoch war.
AP B7 Erzeugung von F₁-Hybrid-Populationen aus wertvollen Inzuchtlinien für den sommerannuellen Anbau	Saatguterzeugung 2021 erfolgreich durchgeführt. Ein Polycross aus den nach Datenlage besten 16 Linien des JKI und 2 genetisch eingengten Populationen (für einen Vergleich) wurde 2021 mit 54 Einzelpflanzen je Prüfglied gepflanzt und geerntet. Das Material wurde in AP B9 bewertet.
AP B8 Leistungstest Synthetischer Populationen (Syn₁-Syn₂) für den winterannuellen Anbau	Die Synthetischen Populationen zeigten ca. 10-20% höhere Erträge als die beste Sorte. Zudem wurde in allen Jahren der Mindestgehalt von 3 ml/100 g ätherisches Öl von den Synthetischen Populationen erreicht. Die noch aktuellen Sorten erreichten dies in der Regel nicht. Es steht damit

	fest, dass das Zuchtmaterial in den Anbau überführt werden wird. 2021 konnten erfolgreich 4 Synthetische Populationen erzeugt werden (Syn₁). Diese wurden 2022 im direkten Vergleich mit Linien und Standards (AP B6) evaluiert. Zudem wurde jeweils die Syn₂ erzeugt, die im April 2023 ausgedrillt wurde. 2023 waren sowohl die Syn₁ als auch die Syn₂ leistungsfähiger als die Standardsorten.
AP B9 Leistungstest von F ₁ -Hybrid-Populationen für den sommerannuellen Anbau	F1-Populationen abschließend bewertet. Die Datengrundlage zur Zusammensetzung der Synthetischen Populationen in AP B8 war noch recht gering (1 bis 2 Jahresdaten aus dem vorherigen Projekt). Das AP B9 hat die Datenlage ausgeweitet, sodass die Zusammensetzung nochmals verbessert werden kann. F₁-Saatgut wurde 2021 in AP B7 erzeugt. Dieses wurde 2022 zur Bestimmung der Kombinationseignung getestet. Erwartungsgemäß zeigten die F₁-Populationen höhere Erträge als die Inzuchtlinien. Interessanterweise zeigten auch die Sorte Ines und das JKI-Zuchtmaterial Selka, die selektierte Populationen und nicht Inzuchtlinien sind, einen Heterosis-Effekt. 2 Linien, die in den bisherigen Synthetischen Populationen integriert sind, sind mit Blick auf die Allgemeine Kombinationseignung (GCA) als kritisch zu bewerten. Die Linie mit der höchsten GCA (L36) überzeugte im Ätherischölgehalt nicht. Bei der finalen Sortenentwicklung sollten somit leicht veränderte Zusammensetzungen (ggf. auch eine Reduktion der Anzahl von Komponenten) der Synthetischen Populationen ausgetestet werden.
AP C11 Prüfung SSD-Verfahren	Über ein Standard-Protokoll, das u.A. für Getreide eingesetzt wird, konnte keine eindeutige Reduktion der Generationsdauer erzielt werden. In einem ersten Test 2022 konnte keine Reduktion der Dauer bis zum Blühbeginn bei einem Verfahren mit langer Beleuchtungsperiode in der Klimakammer gegenüber der gewöhnlichen Gewächshausanzucht festgestellt werden. Vielmehr hat das Protokoll die Gewinnung von Saatgut durch Herabsetzen der Fertilität nur erschwert. Umfangreichere Tests wären notwendig, um ein SSD-Verfahren für Kümmel zu entwickeln. Dafür standen nicht ausreichend personelle Ressourcen im Projekt zur Verfügung.
AP C12 Verbesserung Saatgutgewinnung (GWH)	Verbesserungen der phytopathologischen Situation erreicht. Die Saatgutgewinnung stellt ein generelles Problem bei Kümmel dar. Des Öfteren müssen Versuche aufgrund von Saatgutmangel und/oder schlechter Keimrate abgesagt oder stark reduziert werden. Es wurde festgestellt, dass generell bessere Ergebnisse bei Vermehrungen über Winter erzielt werden. Zudem wurde für die Mehltaubekämpfung die

	Nutzung von Schwefelverdampfern erfolgreich ausgetestet. Durch Nacherntebehandlungen (Wasserdampf) kann eine Reduktion von Pathogenen auf dem Saatgut bewirkt werden. Dies könnte Auflaufkrankheiten reduzieren (Zusammenarbeit mit der Nachwuchsgruppe für Arznei- und Gewürzpflanzen, gefördert durch die FNR).
AP D13 Entwicklung und Prüfung genetischer Marker	21 Funktionale PACE-Marker für Kreuzungsnachweise erzeugt. Auf Basis von Sequenzdaten aus dem vorherigen Projekt wurden insgesamt 110 sogenannte PACE-Marker erstellt. Ohne Referenzgenom ist die Zuverlässigkeit der Sequenzdaten jedoch eingeschränkt. Als eine Folge sind nur 21 der erstellten Marker für die angedachten Fragestellungen nutzbar, die bereits für Kreuzungsnachweise eingesetzt wurden.

1.3. Detaillierte Darstellung der Ergebnisse nach Arbeitspaketen

1.3.1. AP A1: Prüfung & Selektion von F₂-Populationen aus der Kreuzung von ätherischölreichen Linien und der Sorte Aprim mit Winterhärte und festem Kornsitze (1. Intervall in 2020/2021)

Material und Methoden

2020 wurden Kreuzungen zwischen 11 verschiedenen JKI-Inzuchtlinien aus dem sommerannuellen Züchtungsprogramm mit erhöhtem Ätherischölgehalt und der winterharten Sorte Aprim durchgeführt. Aus den erzeugten F₁-Pflanzen wurden in Isolation F₂-Populationen erzeugt. Im September 2020 wurden diese und die Sorten Aprim und Sprinter in 4 Wiederholungen mit 8 m Reihen je Prüfglied mit ca. 200 Samen je Reihe ausgedrillt. Ende November und wieder Ende März wurden die Reihen ausgezählt, um die Winterüberlebensrate zu ermitteln. Ca. 30 überlebende Pflanzen je Reihe wurden zur Saatgutgewinnung isoliert (Abb. 1). Dabei wurde der Hauptspross eingetütet und frei abblühende seitliche Sprosse wurden zur Bestimmung des Ätherischölgehalts geerntet. Einige Pflanzen mit zu geringem Samenansatz mussten aussortiert werden, sodass am Ende 60-84 Pflanzen je Prüfglied analysiert werden konnten. Der Ätherischölgehalt wurde mittels Nahinfrarotspektroskopie bestimmt.



Abb. 1 Versuch zur Selektion für den winterannuellen Anbau 2020/2021 im Mai 2021. Links Inzuchtlinien der 5. Inzuchtgeneration (AP A3), Rechts F₂-Populationen (AP A1).

Ergebnisse und Diskussion

Der Vater Aprim erreichte die höchste Winterüberlebensrate (100%). Alle F₂-Populationen erreichten ähnlich gute Werte (ca. 90 bis 100%, Abb. 2) und zeigten damit eine deutlich höhere Winterüberlebensrate als die nicht winterharte Sorte Sprinter (ca. 50%). Letzterer Wert weist auf eine schwache Winterhärteselektion hin, denn in Vorjahren ist Sprinter stets nahezu vollständig ausgewintert. Insgesamt kann aber konstatiert werden, dass durch Neukombination eine höhere Winterhärte ins Zuchtmaterial eingebracht werden konnte.

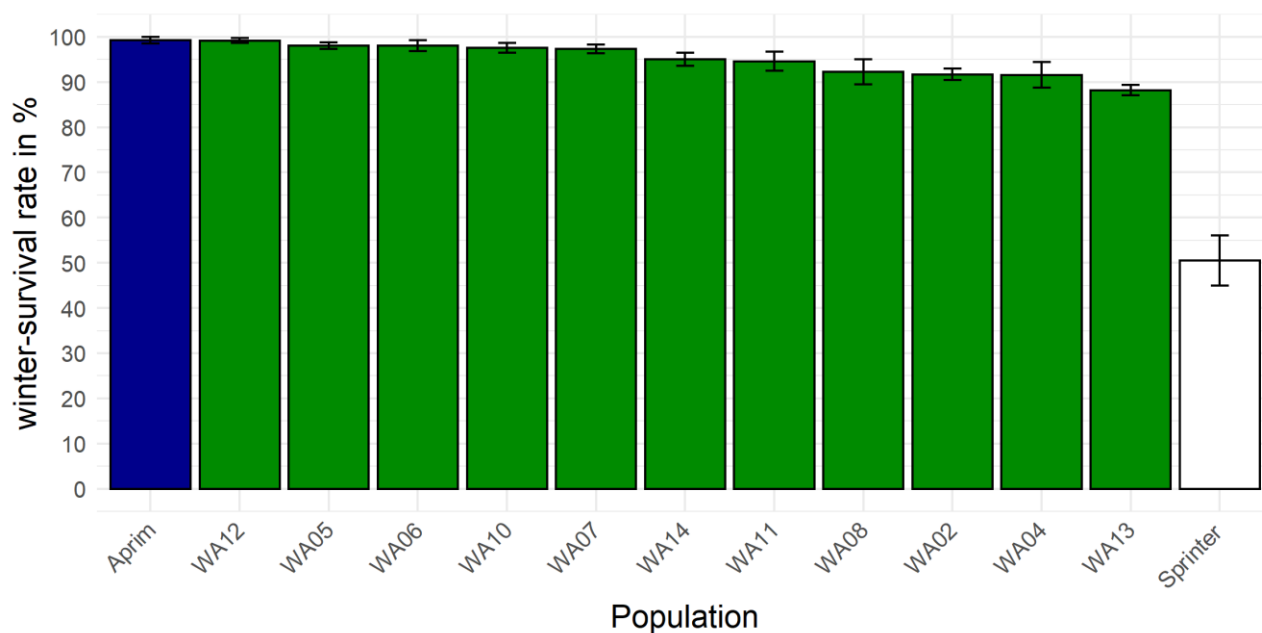


Abb. 2 Winterüberlebensrate von 11 F₂-Populationen aus Kreuzungen zwischen JKI-Inzuchtlinien x Aprim im Vergleich mit dem Vater Aprim und der Sorte Sprinter. Fehlerbalken = Standardfehler, N = 4.

Beim Ätherischölgehalt zeigten alle F₂-Populationen im Median einen höheren Ätherischölgehalt als der Vater Aprim (Abb. 3). Dies kann auf den maternalen Ursprung zurückgeführt werden. Somit wurde erfolgreich die Ausgangsbasis zur Selektion von Zuchtmaterial für den winterannuellen Anbau mit erhöhtem Ätherischölgehalt geschaffen. Die Pflanzen mit den höchsten Ätherischölgehalt-Werten (ca. oberste 25-30%) wurden selektiert und deren Selbstungssaatgut wurde zur Wiederaussaat (AP A2) verwendet. Da die Selektion auf Winterhärte eher schwach war, wurde auch beim Ätherischölgehalt bewusst eine geringe Selektionsintensität gewählt. Die Folgegeneration ist als selektierte F₃ anzusehen, wobei auf Einzelpflanzen-Niveau ein erster Inzuchtierungsschritt vorliegt.

Bei den in Abbildung 3 dargestellten Werten ist darauf hinzuweisen, dass die gemessenen absoluten Werte im Mittel (hier Median) üblicherweise nicht im Bestand (d. h. in Parzellenversuchen) erreicht werden. So liegt die Sorte Aprim in Parzellenversuchen meist deutlich unter 3 ml/100 g. Auch bei den anderen Prüfgliedern ist im Bestand von geringeren Werten auszugehen. Der weitere

Selektionserfolg hängt primär davon ab, in welchem Maße die beobachtete große phänotypische Variabilität in den F₂-Populationen durch genetische Variabilität erklärt werden kann. Dies kann erst in der Folgegeneration eingeschätzt werden. Es ist aber davon auszugehen, dass in diesem Versuchsdesign mit Einzelpflanzenanalyse Umweltfaktoren einen bedeutenden Effekt haben. Durch eine eher geringe Selektionsintensität können Selektionsfehler aufgrund solcher Faktoren jedoch in Folgegenerationen gut korrigiert werden.

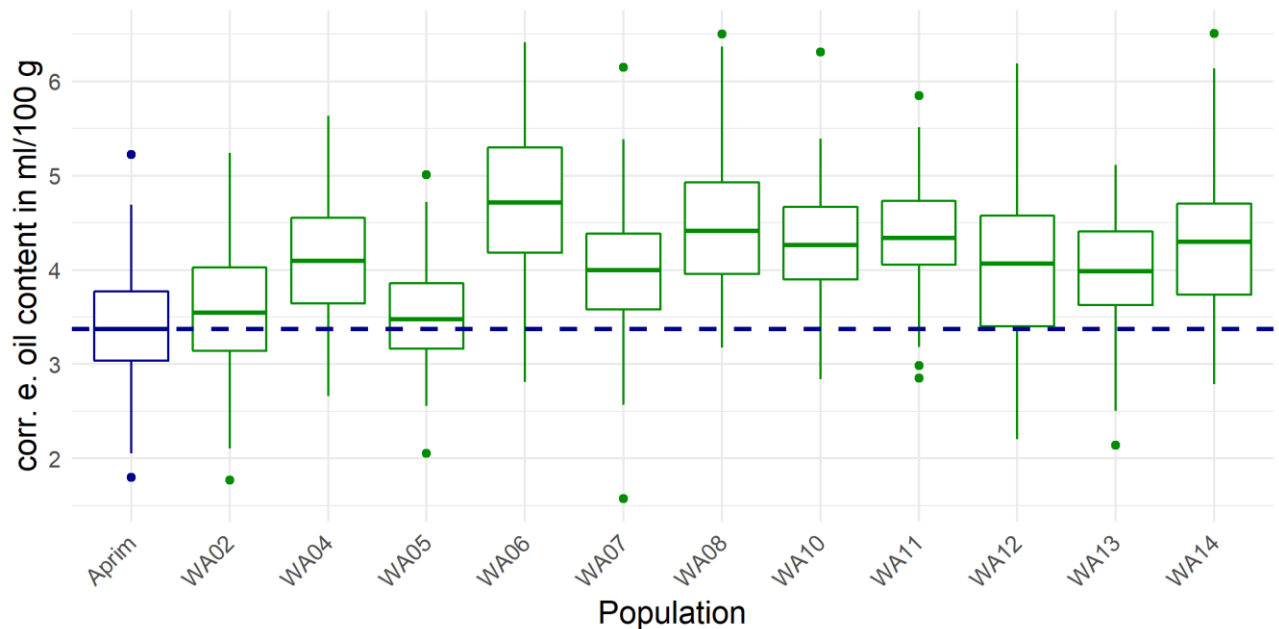


Abb. 3 Ätherischölgehalt von 11 F₂-Populationen aus Kreuzungen zwischen JKI-Inzuchtlinien x Aprim im Vergleich mit dem Vater Aprim und der Sorte Sprinter. N = 60-84 Einzelpflanzen. Gestrichelte blaue Linie = Median des Standards Aprim.

1.3.2. AP A1: Prüfung & Selektion von F₂-Populationen aus der Kreuzung von ätherischölreichen Linien und der Sorte Aprim mit Winterhärte und festem Kornsitz (2. Intervall)

Da diese nachrückenden Populationen technisch im Feldversuch mit den selektierten Populationen des 1. Intervalls mitlaufen, sind diese im AP A2 dargestellt.

1.3.3. AP A2: Prüfung & Selektion der Folgegenerationen aus AP A1 (F_{4/2}-Generation in 2022/2023)

Dargestellt werden die Ergebnisse der letzten selektierten Generation, die im Projekt vollständig für Winterhärte und Ätherischölgehalt ausgewertet werden konnte.

Material und Methoden

Ende September 2022 wurden Populationen und die Sorten Aprim und Sprinter in 4 Wiederholungen mit 6 m Reihen je Prüfglied mit ca. 200 Samen je Reihe ausgedrillt. Ende November und wieder Ende März wurden die Reihen ausgezählt, um die Winterüberlebensrate zu ermitteln. Der Versuch folgt im Weiteren dem Prozedere von AP A1.

Ergebnisse und Diskussion

Im Winter 2022/2023 kam es wie im Vorjahr zu einer vollständigen Auswinterung des Standards Sprinter (Abb. 4). Erneut lag auch der Vater Aprim bei ca. 70% Winterüberlebensrate. Die selektierten F₄-Populationen lagen im Wertebereich zwischen 55% und fast 90%. Die deutlich höhere Winterüberlebensrate der WA06 ist interessant, muss sich aber über weitere Jahre bestätigen. Die meisten der noch nicht selektierten F₂-Populationen zeigten erwartungsgemäß eine etwas geringere Winterüberlebensrate als die F₄-Populationen. Auffälligerweise erreichte aber die WA20 fast 80% Winterüberlebensrate. Denkbar ist, dass diese Population Allele aus früheren Kreuzungen mit zweijährigen Material enthält, die mit einer verbesserten Winterhärte assoziiert sind.

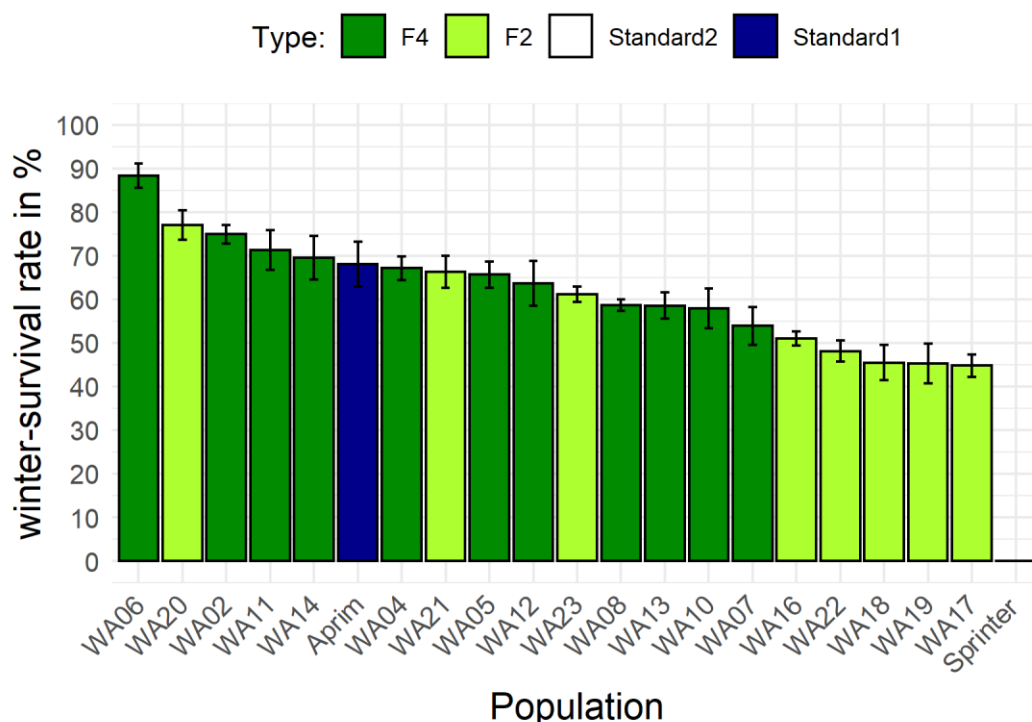


Abb. 4 Winterüberlebensrate von 11 F₄-Populationen und 8 F₂-Populationen aus Kreuzungen zwischen JKI-Inzuchtlinien x Aprim im Vergleich mit dem Vater Aprim und der Sorte Sprinter. Fehlerbalken = Standardfehler, N = 4 (Wiederholungen).

In Abbildung 5 wird der Ätherischölgehalt für die F₂₋₄-Generationen als prozentualer Unterschied zum Mittelwert von Aprim (um lineare Jahreseffekte möglichst auszugleichen) dargestellt. Bei den meisten Populationen konnte mit jeder Generation eine Erhöhung des Ätherischölgehalts gegenüber Aprim erzielt werden. Dies ist aber nicht immer der Fall, weil erstens Selektionen aufgrund von Umwelt- oder Zufalls-Effekten fehlerhaft sein können und zweitens das Verhältnis zwischen Aprim und den selektierten Populationen über die Jahre unterschiedlich sein kann (Genotyp-Umwelt-Interaktions-Effekte). Idealerweise sollten am Ende der Selektion mehr als 50% höhere Werte für den Ätherischölgehalt im Vergleich zu Aprim erreicht werden, um auch in Jahren mit durchschnittlich sehr geringen Werten, ausreichen hohe Gehalte zu bekommen. Dies wird derzeit bereits von einer selektierten Population (WA06) erreicht.

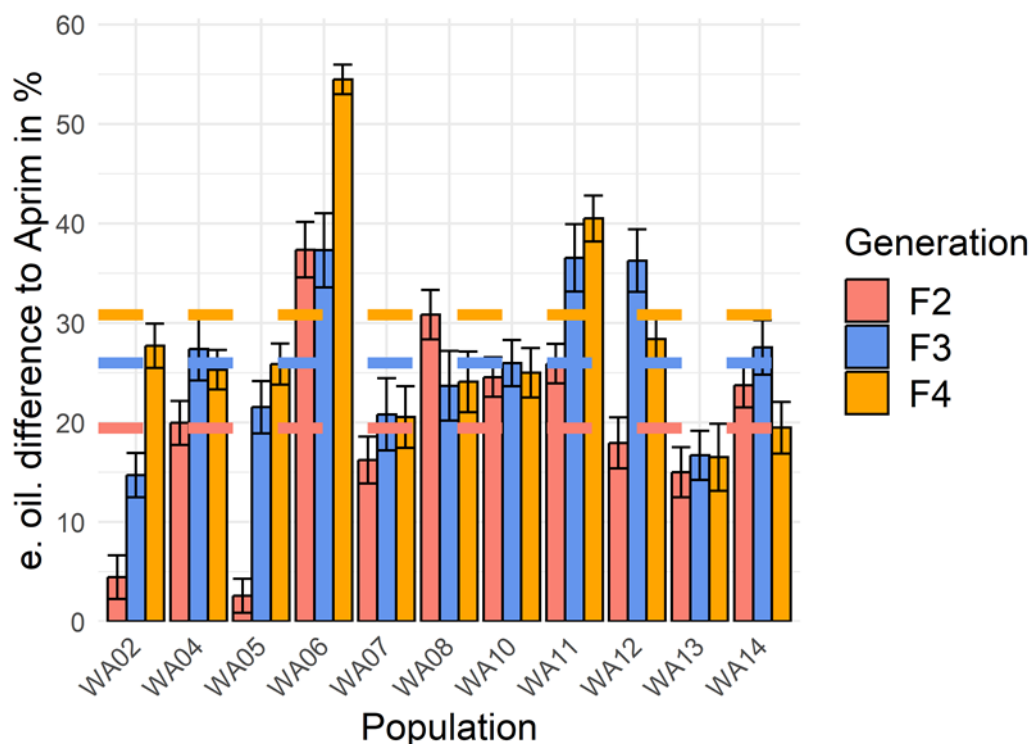


Abb. 5 Ätherischölgehalt von 11 F₄-Populationen und 8 F₂-Populationen aus Kreuzungen zwischen JKI-Inzuchtlinien x Aprim als prozentualer Unterschied zum Vater Aprim. Fehlerbalken = Standardfehler, N = F₂: 60-84; F₃: 39-62.

1.3.4. AP A3: Prüfung von vorselektierten Linien aus dem sommerannuellen Anbau für die Eignung im winterannuellen Anbau

Material und Methoden

Insgesamt 13 JKI-Linien aus dem sommerannuellen Zuchtprogramm zeigten im Winter 2019/2020 eine mittlere Winterüberlebensrate. Diese wurden selektiert und im Winter 2020/2021 erneut getestet (Versuchsdesign wie in AP A1). Zudem wurde getestet, ob eine Erhöhung (und aus wissenschaftlichen Gründen auch eine Senkung) des Ätherischölgehalts innerhalb der winterharten Sorte Aprim bzw. eines verwandten Zuchtstammes durch Selektion möglich ist (Aprim_OIL+, Aprim_OIL-, SPKW_OIL+). Anders als in AP A1 und AP A2 wurde der Ätherischölgehalt anhand von Mischproben ermittelt. Der Versuch wurde 2021/2022 wiederholt. Dafür wurde im Versuch 2020/2021 Selbstungssaatgut gewonnen.

Ergebnisse und Diskussion

Alle Prüfglieder außer Sprinter (ca. 50%) zeigten eine Winterüberlebensrate > 90% (Abb. 6). Die Winterhärte in diesen Linien ist wahrscheinlich auf vormalige Kreuzungen mit zweijährigem Material zurückzuführen. Der Winter war wie schon in AP A1 beschrieben eher schwach. Daher sind die Ergebnisse mit Vorsicht zu behandeln. Im Ätherischölgehalt erreichten alle Linien höhere Werte als die Sorte Aprim (Abb. 7). Die absoluten Werte sind erneut mit Vorsicht zu behandeln, weil im Bestand meist geringere Werte erzielt werden. Die Selektion auf höheren Ätherischölgehalt innerhalb der Sorte Aprim scheint in geringem Maße erfolgreich zu sein. Die angestrebten Werte dürften durch diesen Ansatz aber nicht erreicht werden. Überraschenderweise war die Selektion auf niedrigeren Ätherischölgehalt erfolgreicher. Diese Linie könnte für genetische Kartierungen interessant sein.

Die Ergebnisse zur Winterüberlebensrate im härteren Winter 2021/2022 belegen, dass die selektierten Linien zwar eine höhere Winterhärte als die Sorte Sprinter aufweisen, der Anbau dieses Zuchtmaterials als Winterung aber riskant ist (Abb. 8). So zeigten nur wenige Linien eine Winterhärte im Bereich von Aprim. Da diese Linien mit anderen Linien zu einer Synthetischen Population kombiniert werden müssen, um Inzuchtdepression zu vermeiden, wird sich vermutlich lediglich eine Population mit moderater Winterhärte ergeben.

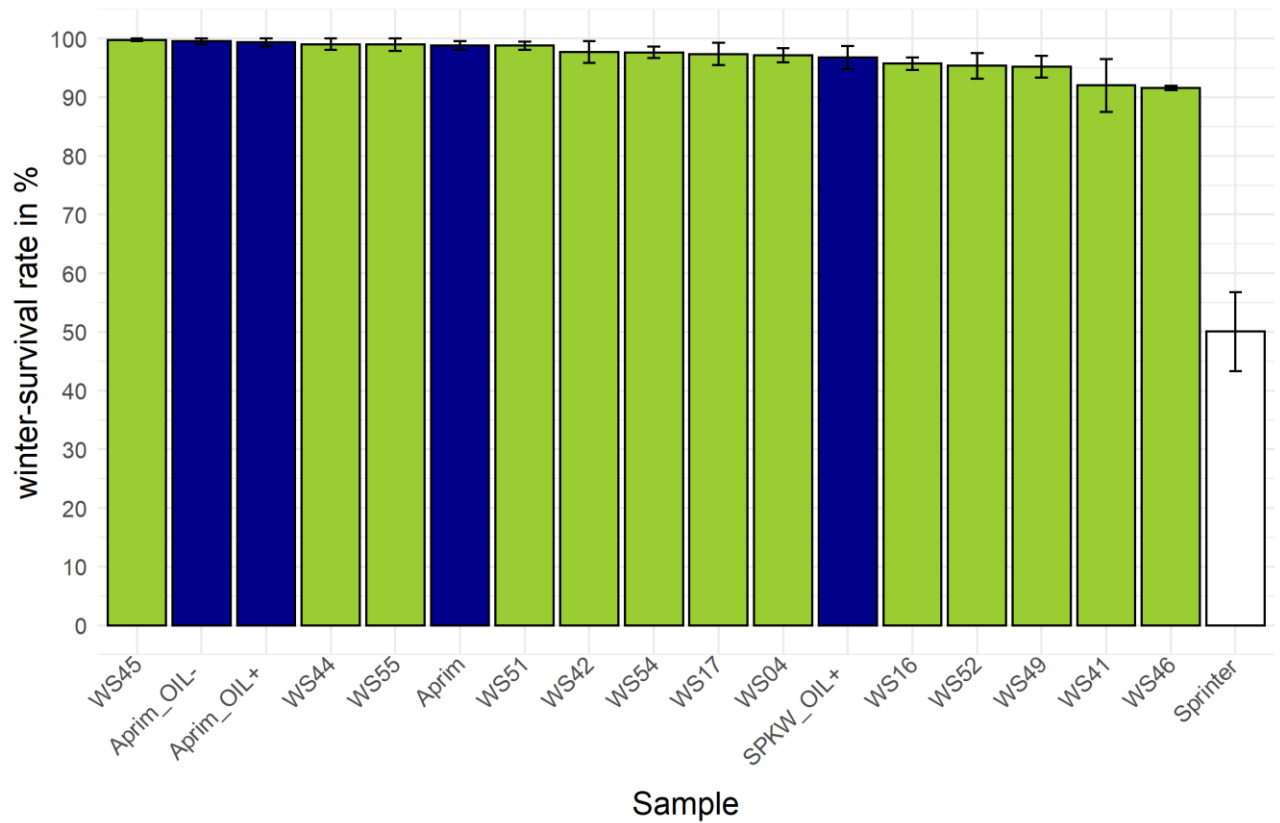


Abb. 6 Winterüberlebensrate von 13 vorselektierten JKI-Inzuchtlinien und 4 Selektionen aus Aprim und einem verwandten Zuchtstamm im Vergleich mit dem Vater Aprim und der Sorte Sprinter im Winter 2020/2021. Fehlerbalken = Standardfehler, N = 4.

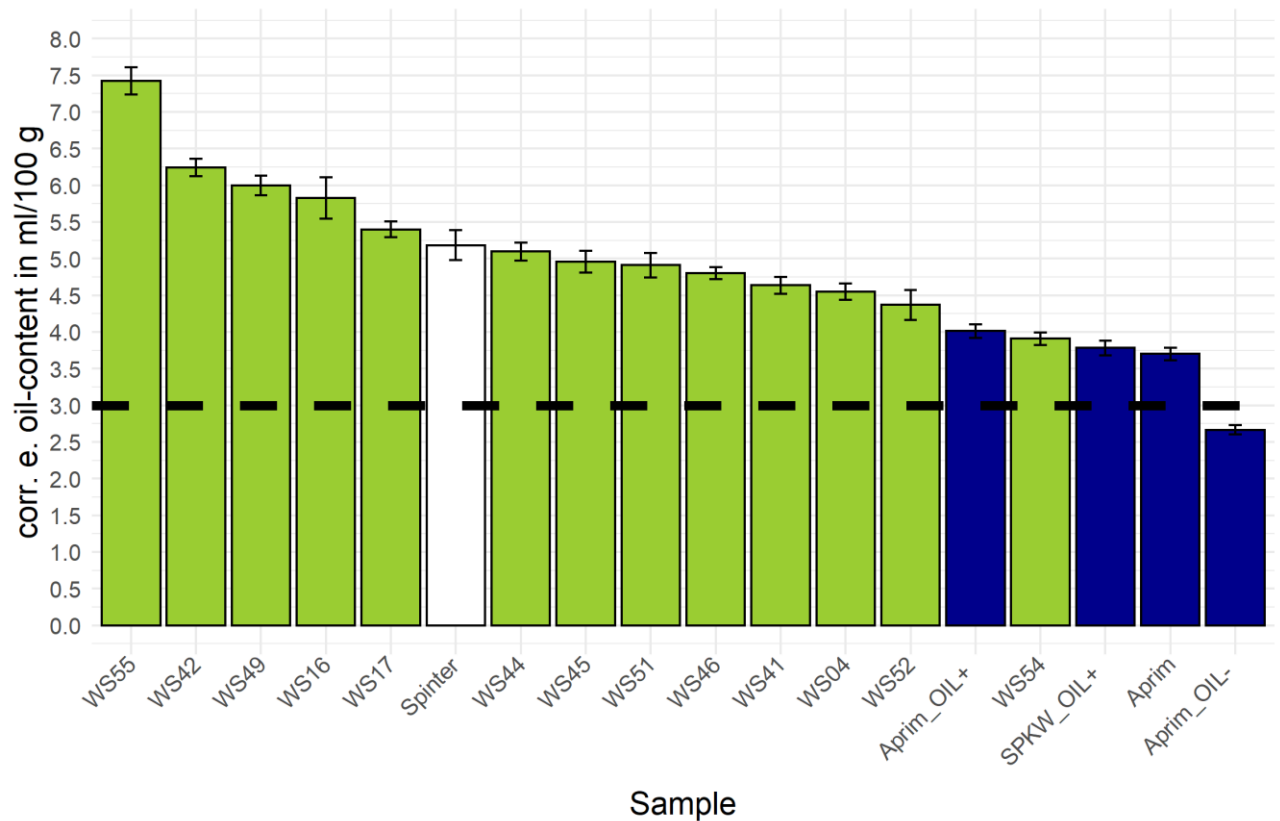


Abb. 7 Ätherischölgehalt von 13 vorselektierten JKI-Inzuchtlinien und 4 Selektionen aus Aprim und einem verwandten Zuchtstamm im Vergleich mit dem Vater Aprim und der Sorte Sprinter. Fehlerbalken = Standardfehler, N = 4. Gestrichelte schwarze Linie = Mindestgehalt gemäß Ph. Eur.

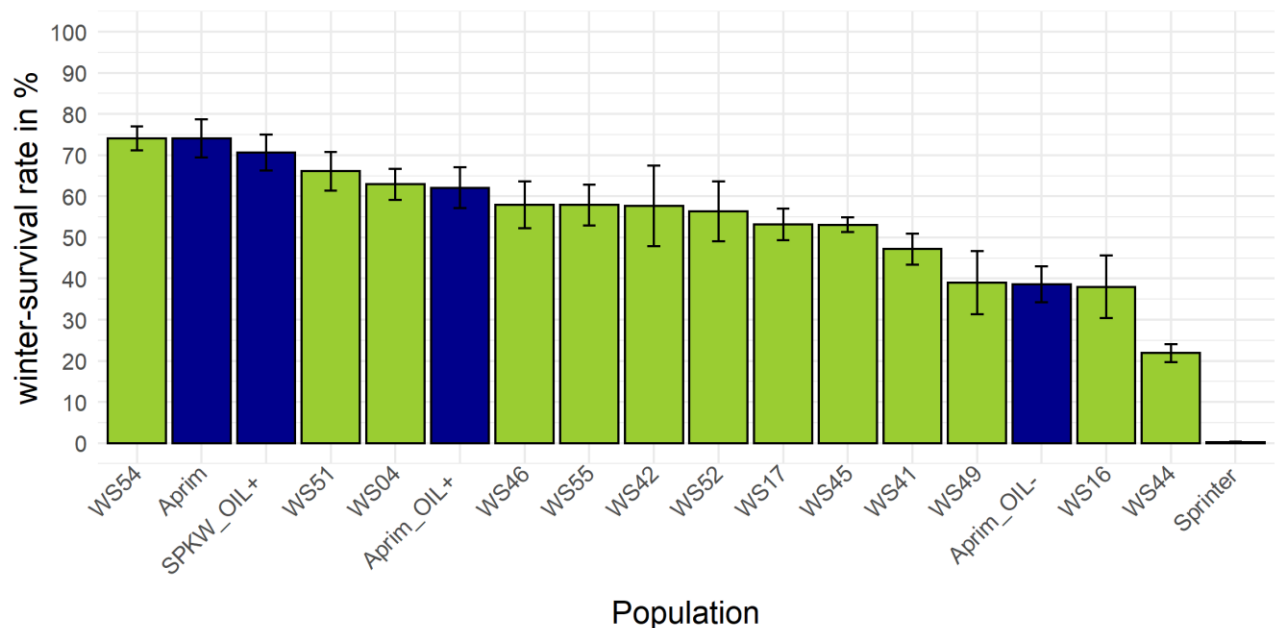


Abb. 8 Winterüberlebensrate von 13 vorselektierten JKI-Inzuchtlinien und 4 Selektionen aus Aprim und einem verwandten Zuchtstamm im Vergleich mit dem Vater Aprim und der Sorte Sprinter im Winter 2021/2022. Fehlerbalken = Standardfehler, N = 4.

1.3.5. AP A5: Vergleich des winterannuellen Anbaus mit dem sommerannuellen Anbau

Material und Methoden

Ein multifaktorieller Leistungstest wurde an 2 Standorten (Quedlinburg, JKI und Groß-Schierstedt, Dr. Junghanns GmbH) angelegt, der 2022 geerntet und ausgewertet wurde. Als Hauptfaktoren wurden 3 Aussaatzeitpunkte (September, Oktober und März) verglichen. Als Subfaktoren wurden 3 Aussaatstärken (50, 100 und 200 Korn/m²) und 4 Genotypen bewertet. Die 4 Genotypen ergeben sich aus 2 Selektionen aus der Sorte Aprim (G1-2) und 2 Synthetischen Populationen (G3-4), die aus Linien evaluiert in AP A4 erstellt wurden. Die erklärte Varianz der Faktoren (Varianzkomponenten) wurde in einem linear gemischten Modell erhoben.

Im zweiten Versuchsjahr (2022/2023) wurde der Versuch auf 2 Aussaatzeitpunkte reduziert (September und März).

Ergebnisse und Diskussion Versuchsjahr 2021/2022

Wie in der Zusammenfassung beschrieben, waren die Pflanzen der Oktoberaussaat zu klein, um den Stürmen im Frühjahr 2022 bei trockenem Boden und dadurch aufreißender Bodenkruste standzuhalten. Daten der Oktoberaussaat konnten somit nicht quantitativ erfasst werden. Insgesamt ist mit dem vorhandenen Material eine spätere Aussaat als September als kritisch anzusehen. Dies muss sich jedoch nicht in jedem Jahr und an jedem Standort bestätigen. Zudem könnte man wie bei Getreide durch Anwalzen das sogenannte Hochfrieren reduzieren. Anbautechnologische Maßnahmen können im Rahmen des Projekts allerdings nicht durch das JKI erfasst werden, sondern sollten durch die Praxispartner ausgetestet werden. Der Standort Groß-Schierstedt konnte leider nicht quantitativ ausgewertet werden, weil die Auflauftrate zu gering war. Die weitere Auswertung beschränkt sich somit auf die Ergebnisse am Standort Quedlinburg für die September- und März-Aussaat:

Weder für den Ertrag noch für den Ätherischölgehalt hatte die Aussaatstärke einen Effekt, während der Aussaatzeitpunkt bei beiden Merkmalen den größten Effekt hatte (Tab. 3). Der Genotyp hatte vor allem einen Effekt auf den Ätherischölgehalt, was sich durch den Selektionshintergrund erklärt. Interaktionseffekte zeigten sich nur bei der Interaktion zwischen Genotyp und Aussaatzeitpunkt. Beim Ertrag lieferten alle Genotypen deutlich höhere Erträge bei der September-Aussaat im Vergleich zur Aussaat im März (Abb. 10). Das wenige Erntegut der Märzaussaat hatte ein geringes Tausendkorngewicht und wirkte optisch insgesamt sehr kümmerlich. Vor diesem Hintergrund sind die deutlich höheren Ätherischölgehalte der Märzaussaat als kritisch zu bewerten (Abb. 11). Die Tatsache, dass der Ätherischölgehalt bei Aprim unter 2 ml/100 g fallen kann und bei dem selektierten JKI-Material unter 3 ml/100 g liegen kann, weist darauf hin, dass bei der Selektion auf höheren Ätherischölgehalt im winterannuellen Material (AP A1 und AP A2) deutlich höhere Werte als beim Vater Aprim selektiert werden sollten, um jahresunabhängig Werte über 3 ml/100 g sicher zu erreichen. Für belegbare Aussagen sind jedoch weitere Daten zu erheben.

Tab. 3 Erklärte Varianz im Versuchsjahr 2021/2022 durch Varianzkomponenten im linear gemischten Modell in %.

Varianzkomponente	Ertrag	Äth. Öl
Aussaatzeitpunkt	95.2	40.1
Genotyp	1.2	30.5
Aussaatstärke	0.0	0.0
Aussaatzeitpunkt x Aussaatstärke	0.0	0.0
Genotyp x Aussaatzeitpunkt	0.5	10.9
Genotyp x Aussaatstärke	0.0	0.0
Restfehler	3.1	18.5

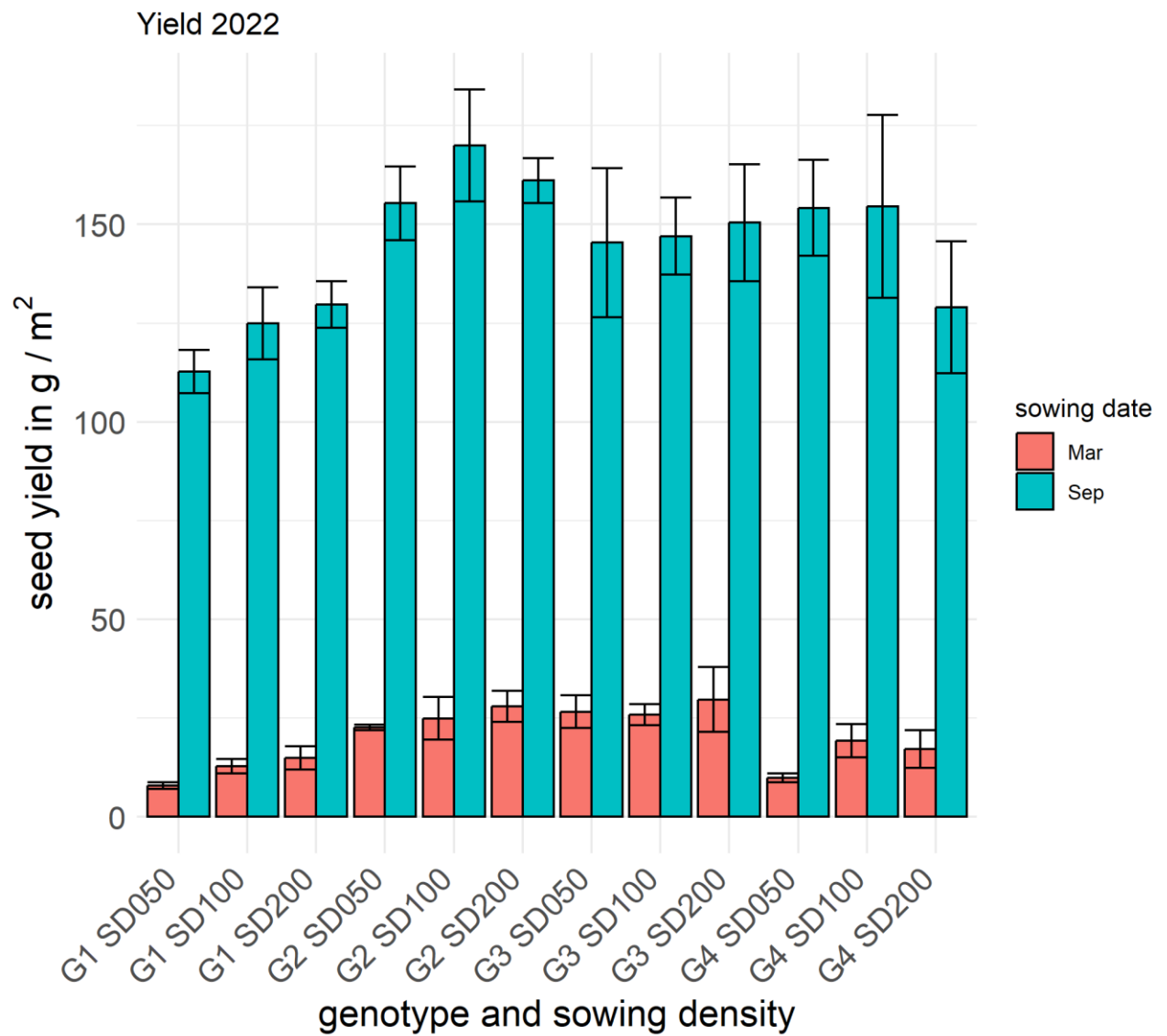


Abb. 9 Ertrag von 4 Genotypen bei September- und bei Märzaussaat im Versuchsjahr 2021/2022.

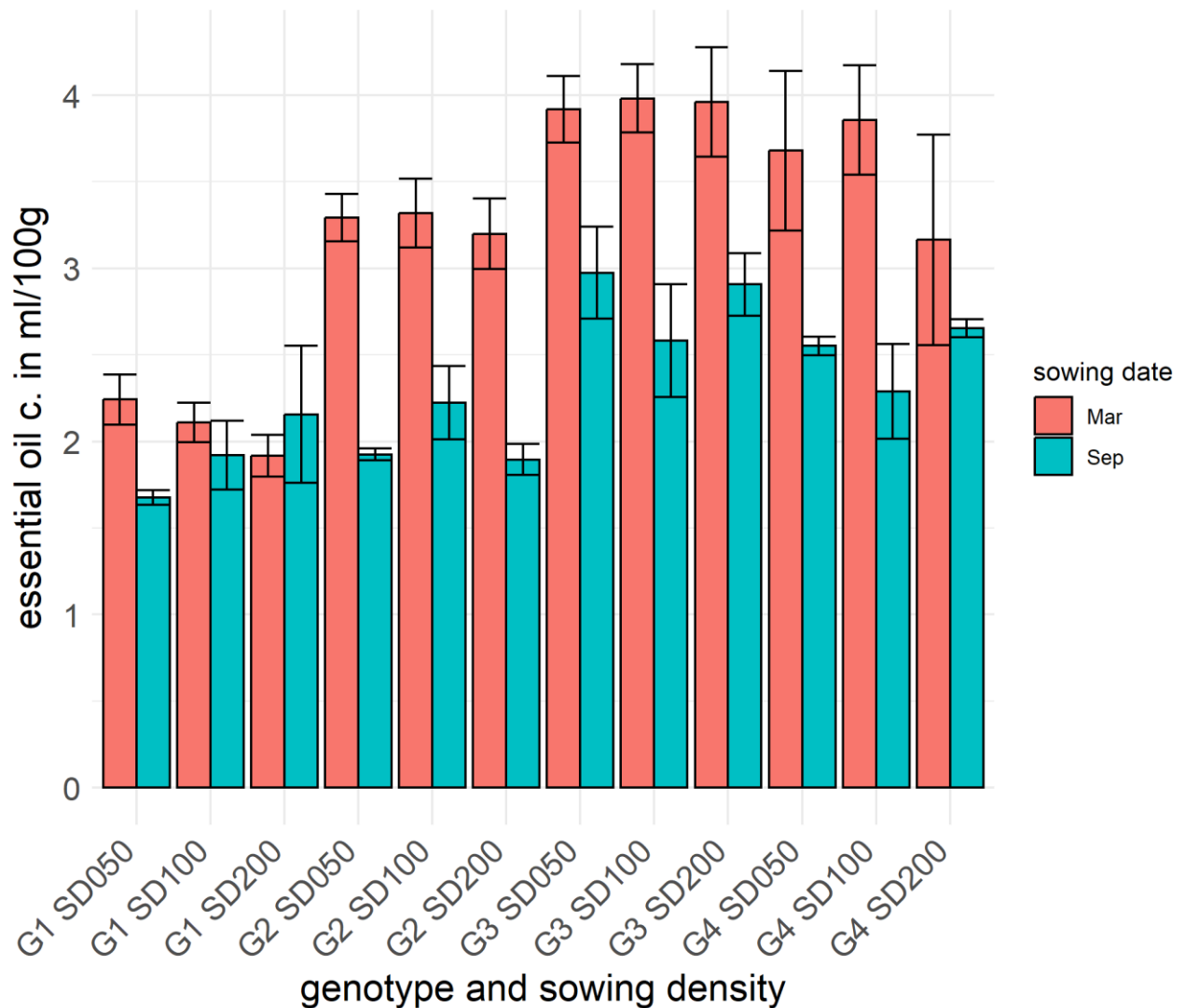


Abb. 10 Ätherischölgehalt von 4 Genotypen bei September- und bei Märzsaat im Versuchsjahr 2021/2022.

Ergebnisse und Diskussion Versuchsjahr 2022/2023

Im Versuchsjahr 2022/2023 ergab sich ein völlig anderes Bild. Hier lagen die primären Effekte auf dem Genotyp und der Interaktion zwischen Genotyp und Aussaatzeitpunkt (Tab. 4). Das Jahr 2023 war durch ungewöhnlich hohe Niederschläge geprägt, sodass die Sommerungen sehr gute Erträge erreichten (Abb. 11). Die Winterungen dagegen hatten stärkere Auswinterungen und erreichten oder übertrafen diese Erträge nur bei der maximalen Aussaatstärke (Abb. 11). Die Aussaatstärke per se und in Interaktion mit dem Aussaatzeitpunkt hatte entsprechend auch einen Effekt. In einem feuchten Jahr behält die Sommerung somit Ihre Berechtigung und die Winterung kann ihren Vorteil nicht oder nur geringfügig ausspielen. Es bleibt die Frage, welche Witterungsbedingungen in welcher Region in Zukunft mit welcher Häufigkeit auftreten werden. Zudem dürfte optimiertes winterannuelles Material weniger unter Auswinterungen leiden und könnte die Sommerung grundsätzlich übertreffen.

Beim Ätherischölgehalt waren die Unterschiede zwischen Sommerung und Winterung 2022/2023 deutlich geringer. Insgesamt erreichte die Sommerung aber noch höhere Gehälter.

Tab. 4 Erklärte Varianz im Versuchsjahr 2022/2023 durch Varianzkomponenten im linear gemischten Modell in %.

Varianzkomponente	Ertrag	Äth. Öl
Aussaatzeitpunkt	9.5	12.8
Genotyp	29.5	48.6
Aussaatstärke	8.6	0.0
Aussaatzeitpunkt x Aussaatstärke	6.2	0.0
Genotyp x Aussaatzeitpunkt	31.6	0.6
Genotyp x Aussaatstärke	0.0	0.0
Restfehler	14.6	37.9

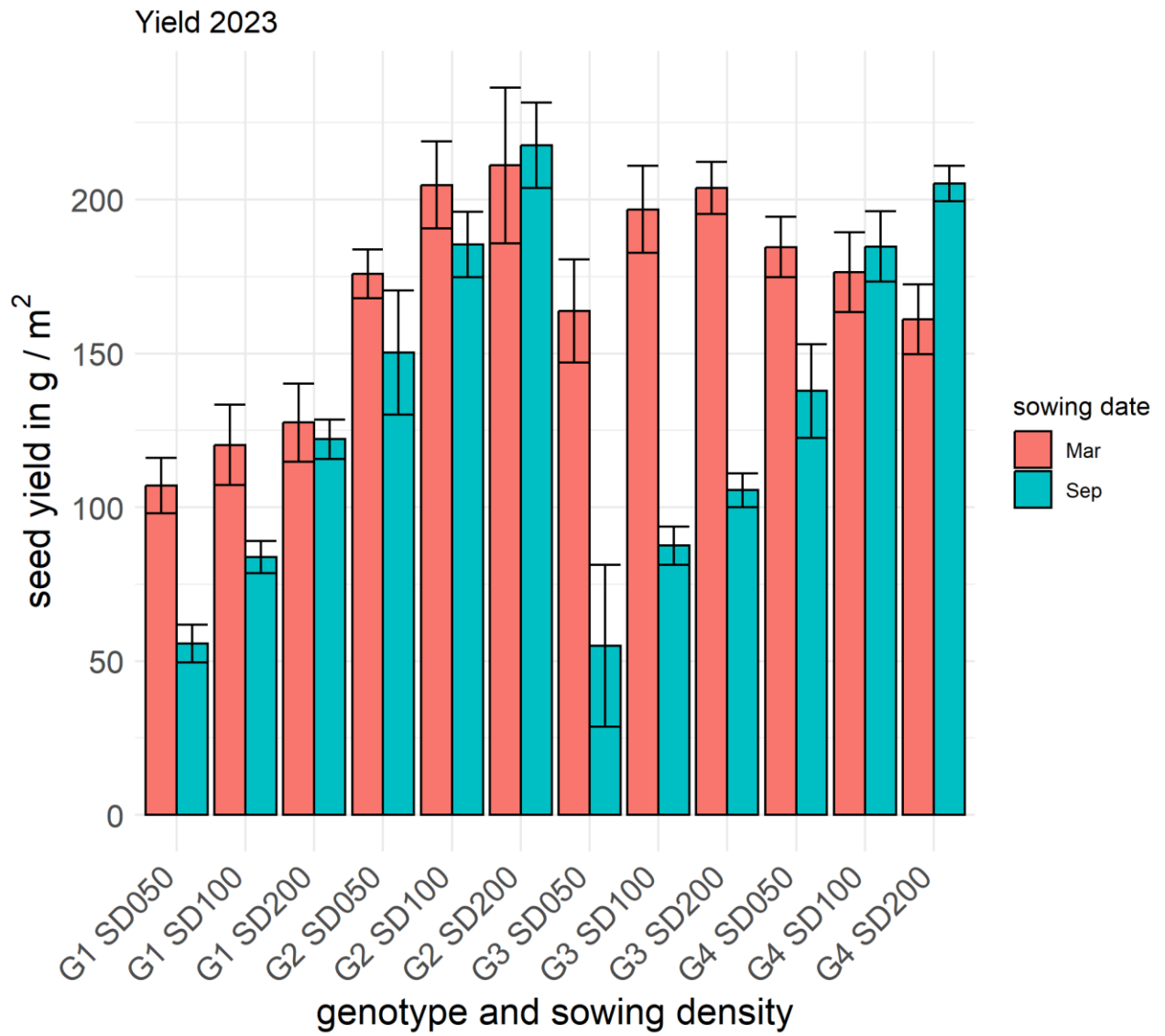


Abb. 11 Ertrag von 4 Genotypen bei September- und bei Märzaussaat im Versuchsjahr 2022/2023.

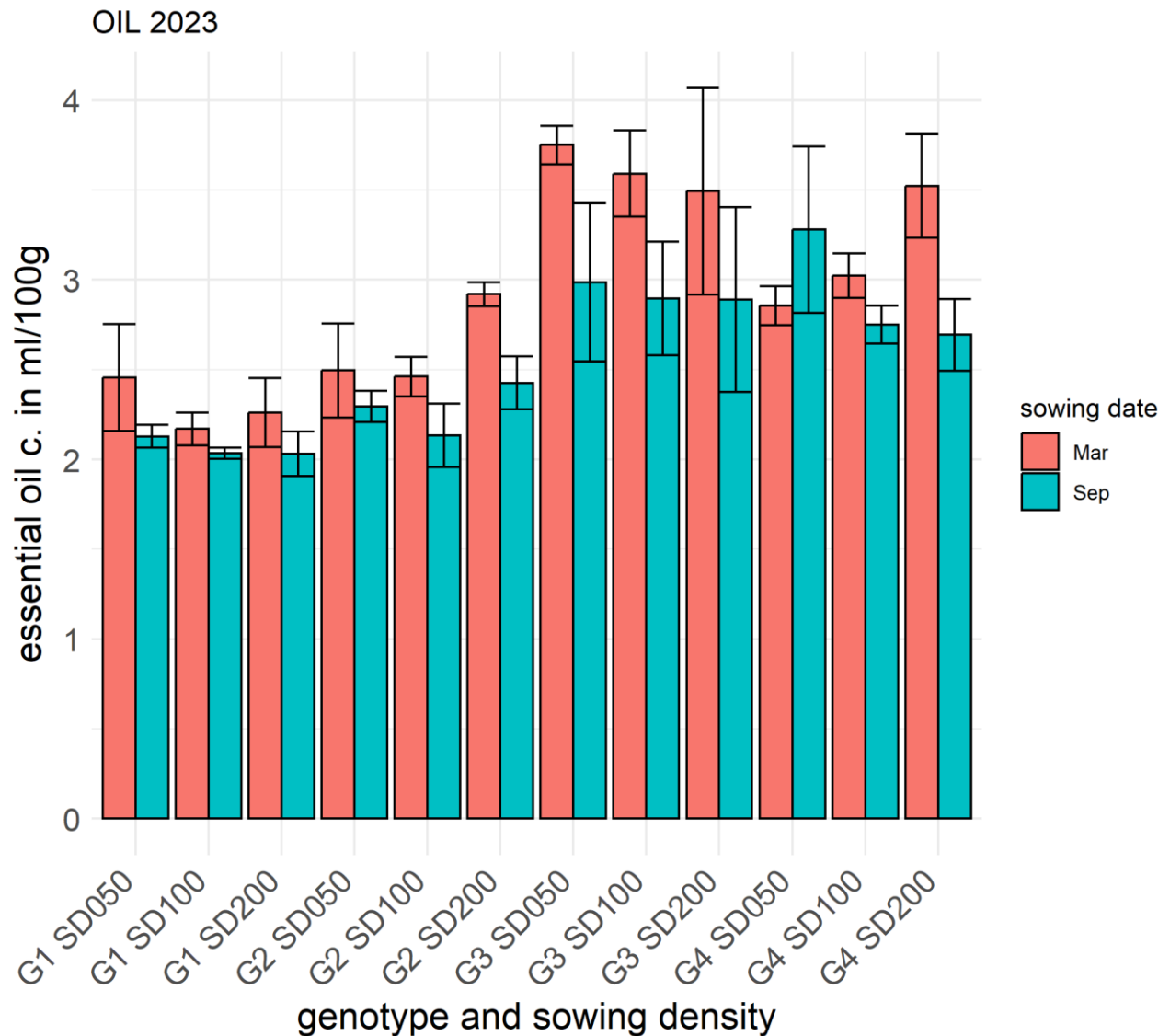


Abb. 12 Ätherischölgehalt von 4 Genotypen bei September- und bei Märzaussaat im Versuchsjahr 2022/2023.

1.3.6. AP B6: Mehrjährige Prüfung der Eigenleistung von Linien der 5. Inzuchtgeneration für den sommerannuellen Anbau und AP B8: Leistungstest Synthetischer Populationen (Syn1-Syn2) für den winterannuellen Anbau

Da der Test der Inzuchtlinien im selben Versuch mit dem Test der Synthetischen Populationen (generiert aus diesen Linien) erfolgte, sind hier AP B6 und B8 zusammengefasst. Von 2021 bis 2023 wurde die Anzahl der Inzuchtlinien reduziert und die Anzahl an Synthetischen Populationen/Generationen erhöht.

Material und Methoden

Insgesamt 20 JKI-Linien der 5. Inzuchtgeneration wurden im vorherigen Projekt auf Basis von 1- bis 2-jährigen Daten im Leistungstest selektiert. Auf Basis dieser Daten wurden auch bereits

Komponenten für Synthetische Populationen ausgewählt und testweise Syn₁-Populationen erzeugt (AP B8). Die Syn₁-Populationen wurden 2022 erstmalig getestet. Syn₂-Populationen stehen ab 2023 zur Verfügung. Das Jahr 2021 wurde genutzt, um nochmals die Eigenleistung der selektierten Linien zu ermitteln. Das Jahr 2021 erwies sich als besonders interessant, weil es anders als in den Vorjahren größere Niederschlagssummen in der Vegetationszeit gab. Auch „gute“ Jahre sollten schließlich in die Leistungsbewertung einfließen. Neben den 20 Inzuchtlinien wurden 4 Vergleichsstandards getestet. Die Sorten Sprinter und Aprim und die Selektionen Ines und Selka. Der Versuch erfolgte als randomisiertes vollständiges Blockdesign mit vier Wiederholungen mit jeweils 12 m² großen Parzellen je Prüfglied. Der Ätherischölgehalt wurde mittels Destillation gemessen.

Ergebnisse und Diskussion 2021

In Abb. 13 sind Ertrag und Ätherischölgehalt gegeneinander aufgetragen, sodass Linien mit guten Werten bei beiden Merkmalen unmittelbar ersichtlich werden. 2021 wurden durchgehend deutlich höhere Erträge erzielt als in den Vorjahren. Dahingegen erreichten die Sorten nicht den erforderlichen Ätherischölgehalt von 3 ml/100 g für die pharmazeutische Nutzung. Dies unterstreicht die Notwendigkeit der laufenden Züchtungsbestrebungen. Alle JKI-Linien hingegen übertrafen den Grenzwert. 13 Linien erreichten über 4 ml/100 g, wobei 10 Linien auch eine ansprechende Eigenleistung (roter Kreis) zeigten. Darin befindet sich auch die langjährige durch rekurrente Selektion entstandene Selektion mit der Bezeichnung „Selka“. Diese ist als genetisch stark eingeeengte Population mit hoher morphologischer Homogenität einzuschätzen und könnte somit auch als Komponente für eine Synthetische Sorte eingesetzt werden. Stark inzuchtdepressive Linien, wie sie im vorherigen Projekt detektiert wurden, wurden erfolgreich ausselektiert. Nichtsdestoweniger konnte keine Inzuchtlinie die Populationssorte Sprinter im Ertrag übertreffen. Die notwendige Anhebung des Ertragsniveaus ist somit planmäßig durch die Entwicklung der Synthetischen Sorten zu erreichen.

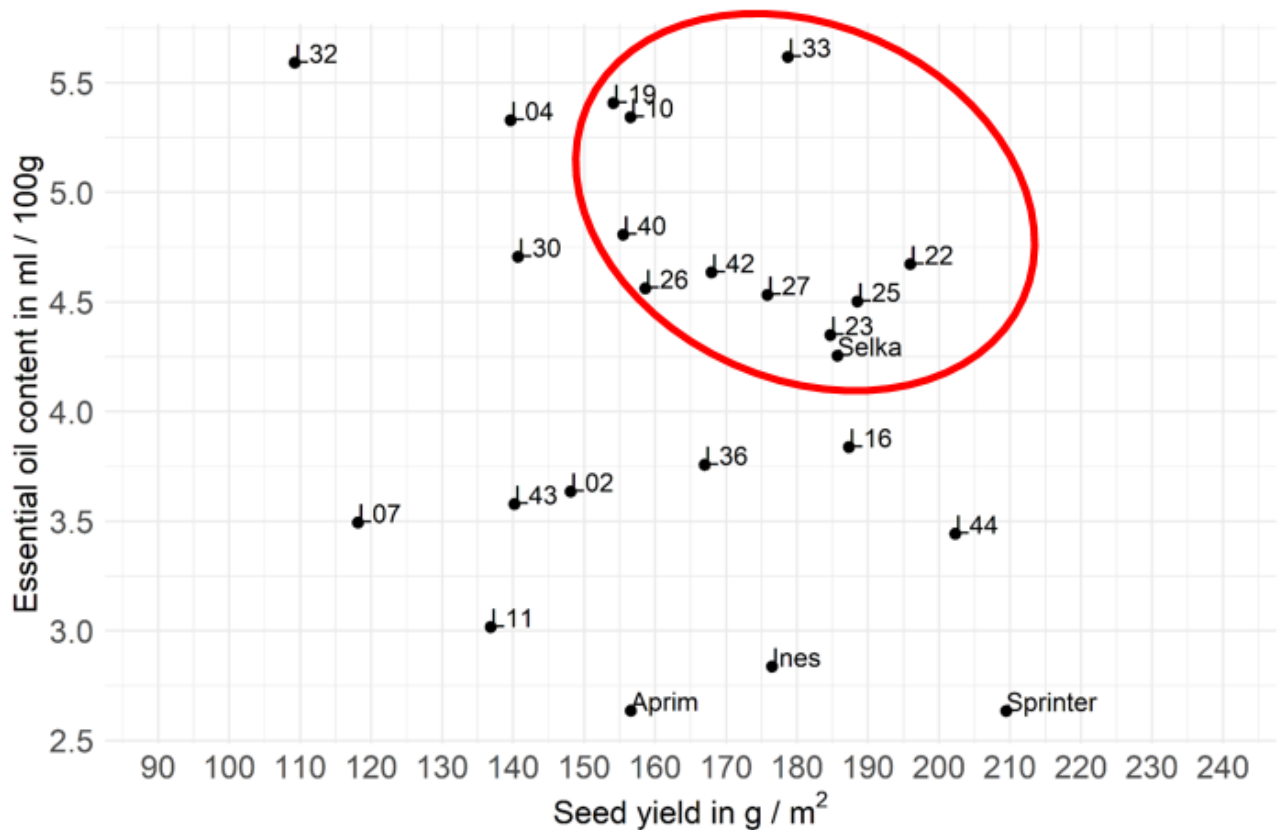


Abb. 13 Ertrag von JKI-Inzuchtlinien und 4 Standards aufgetragen gegen den Ätherischölgehalt dieser Genotypen (Mittelwerte) in 2021. Fehlerbalken = Standardfehler, N = 4. Roter Kreis zeigt besonders wertvolle Genotypen auf.

Ergebnisse und Diskussion 2022

2022 wurden im Allgemeinen sehr viel niedrigere Ertragswerte gegenüber sehr viel höheren Gehalten an ätherischem Öl erzielt. Diese hohen Gehalte sind mit Vorsicht zu bewerten, weil die Körner teils äußerlich extrem gestresst aussehen und bei vielen Genotypen nahezu nicht handelsfähig sind. Dies betrifft auch insbesondere das Erntegut des Standards Sprinter. Die Synthetischen Populationen erzeugten dagegen noch weitgehend „normales“ Saatgut. Weitere Jahre der Bewertung der Synthetischen Populationen sind erforderlich.

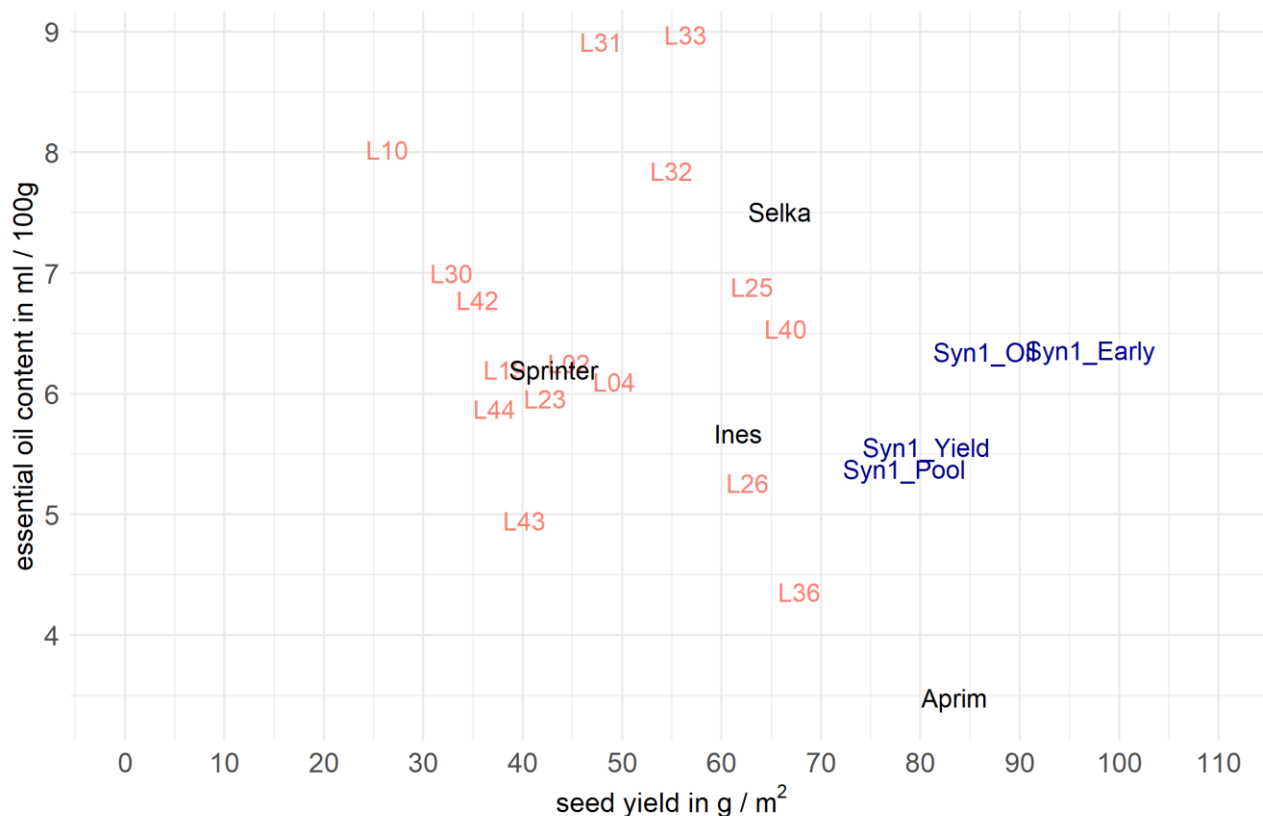


Abb. 14 Ertrag von JKI-Inzuchtlinien (rot), 4 Syn₁-Populationen (blau) und 4 Standards (schwarz) aufgetragen gegen den Ätherischölgehalt dieser Genotypen (Mittelwerte) in 2022. Fehlerbalken = Standardfehler, N = 4.

Ergebnisse und Diskussion 2023

2023 wurden erstmal auch Syn₂-Populationen getestet (d.h. Material, das als solches auch in den Anbau gehen könnte). Eine dieser Populationen fiel durch einen besonders hohen Ertrag und Ätherischölgehalt auf (Syn₂_Oil, Abb. 15) und ist aktuell der beste Sortenkandidat. Generell erzielten die Synthetischen Populationen höhere Erträge als die Standardsorten und erreichten im Gegensatz zu diesen einen Ätherischölgehalt >3 ml/100 g.

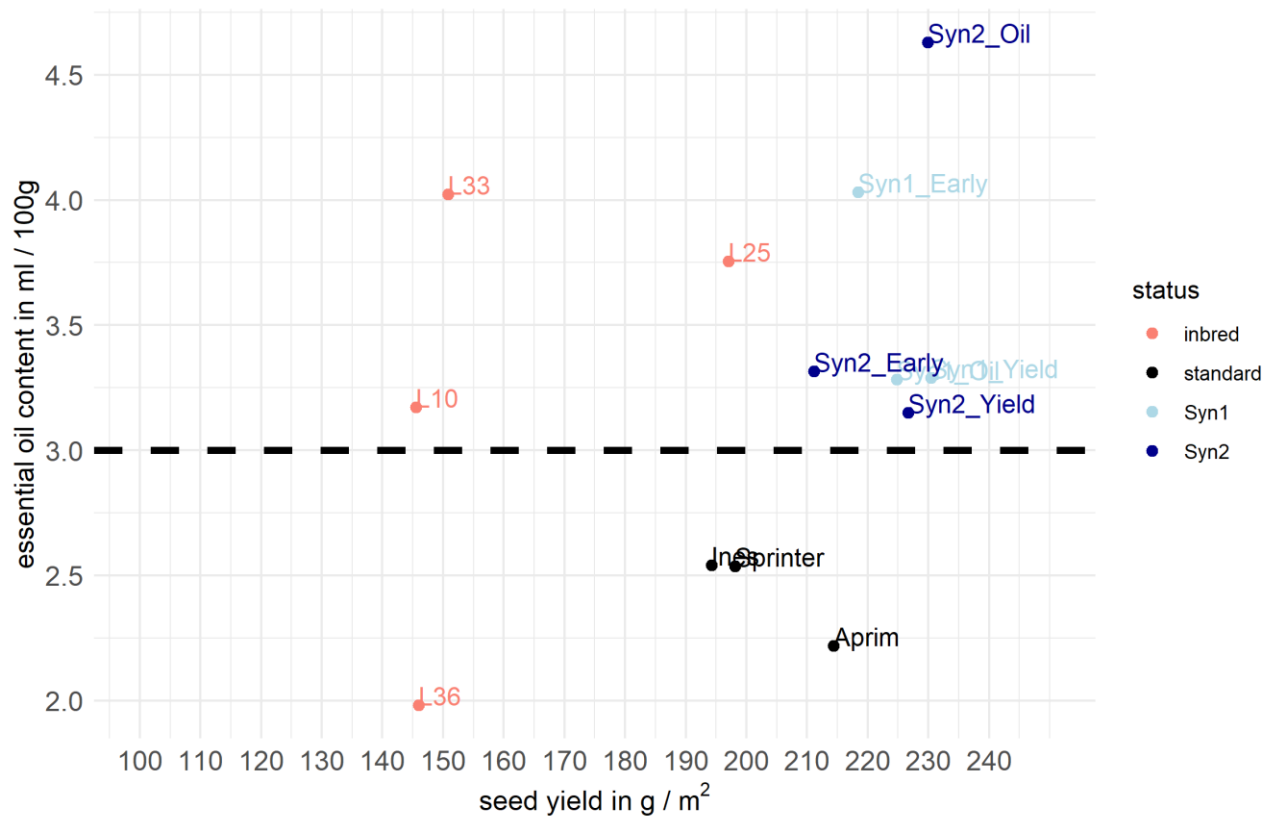


Abb. 15 Ertrag von JKI-Inzuchtlinien (rot), 4 Syn₁-Populationen (blau) und 4 Standards (schwarz) aufgetragen gegen den Ätherischölgehalt dieser Genotypen (Mittelwerte) in 2023. Fehlerbalken = Standardfehler, N = 4.

1.3.7. AP B9: Leistungstest von F₁-Hybrid-Populationen für den sommerannuellen Anbau

Material und Methoden

Für 16 JKI-Linien der 5. Inzuchtgeneration und 2 Populationen (Ines und Selka) wurden F₁-Populationen in einem Polycross erzeugt. Zum Vergleich wurden auch die Linien getestet (s. AP B6). Der Versuch erfolgte als randomisiertes vollständiges Blockdesign mit vier Wiederholungen mit jeweils 12 m² großen Parzellen je Prüfglied. Der Ätherischölgehalt wurde mittels Destillation gemessen.

Ergebnisse und Diskussion

Erwartungsgemäß zeigten die F₁-Populationen höhere Erträge als die Inzuchtlinien. Interessanterweise zeigten auch die Sorte Ines und das JKI-Zuchtmaterial Selka, die selektierte Populationen und nicht Inzuchtlinien sind, einen Heterosis-Effekt. 2 Linien, die in den bisherigen Synthetischen Populationen integriert sind, sind mit Blick auf die Allgemeine Kombinationseignung

(GCA) als kritisch zu bewerten. Die Linie mit der höchsten GCA (L36) überzeugte im Ätherischölgehalt nicht. Bei der finalen Sortenentwicklung sollten somit leicht veränderte Zusammensetzungen (ggf. auch eine Reduktion der Anzahl von Komponenten) der Synthetischen Populationen ausgetestet werden.

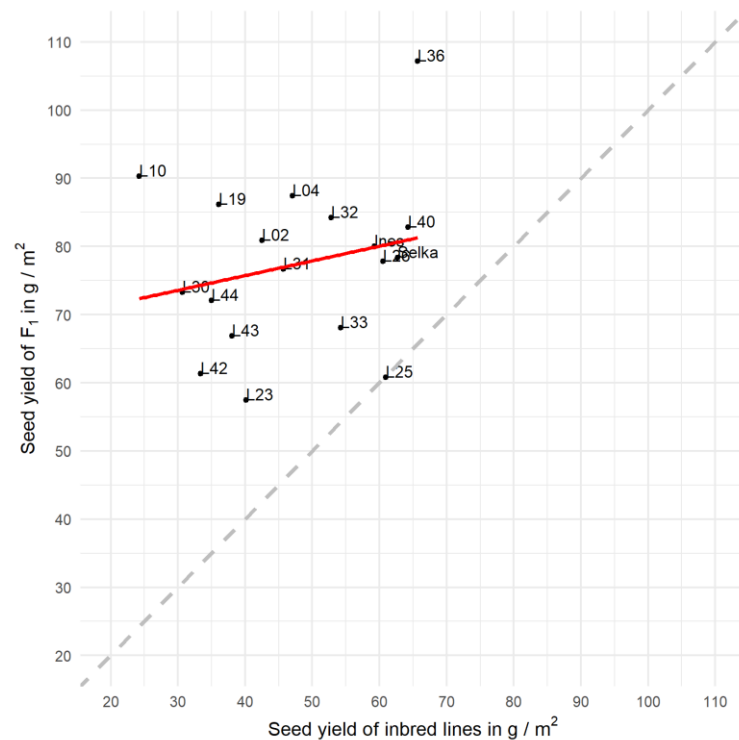


Abb. 14 Ertrag von 16 JKI-Linien der 5. Inzuchtgeneration und 2 Populationen aufgetragen gegen den Ertrag der jeweiligen F₁-Population (erzeugt im Polycross). Rote Linie = Regressionsgerade.

2. Verwertung

Wissenschaftliche Verwertbarkeit und Erfolgsaussichten:

Die Züchtungsmethodik unter Nutzung des gemischten Bestäubungssystems von Kümmel hat sich als sehr effektiv erwiesen und könnte auch für zukünftige Züchtungsaktivitäten genutzt werden.

Moderne molekulargenetische Markersysteme wurden im Projekt entwickelt, die in Folgeprojekten und von anderen Wissenschaftlern genutzt werden können.

Die wissenschaftlichen Erkenntnisse und Methoden zu Kümmel lassen sich teilweise auch für andere Kulturen im Bereich Arznei- und Gewürzpflanzen nutzen. So entwickelte sich u.a. eine Vernetzung mit einem Projekt zur Züchtungsforschung an Anis.

Erhobene wissenschaftliche Daten und Erkenntnisse wurden auf Fachtagungen vorgestellt und nach Abschluss von meist mehrjährigen Versuchsblöcken in englischer Sprache in peer-reviewed Open-Access-Journals publiziert. Zwei Publikationen befinden sich noch in Präparation. Teils wurden Ergebnisse auch zusätzlich in deutscher Sprache zugänglich gemacht. Wichtig ist hierbei nicht nur der Transfer in die wissenschaftliche Gemeinschaft, sondern auch der Transfer in die Agrarbetriebe. Hierfür wurden 2021 und 2022 auch Feldbegehungen mit Kümmelanbauern durchgeführt.

Wirtschaftliche Verwertbarkeit und Erfolgsaussichten:

Im Projektverlauf oder zum Projektende:

Ertragreiches und ätherischöl-reiches Zuchtmaterial für den sommerannuellen Anbau wird zum Projektende zur Verfügung stehen. Durch den erhöhten Ätherischölgehalt wird eine Vermarktungsmöglichkeit auf dem pharmazeutischen Markt abgesichert. Damit können höhere Preise erzielt werden. Durch das höhere Ertragspotential wird die Gewinnmarge erhöht. Dadurch können über mehrere Jahre betrachtet, Anbaujahre mit witterungsbedingt schlechten Erträgen besser ausgeglichen werden. Die am Projekt beteiligten Kümmelanbauer zeigten zuletzt großes Interesse am entwickelten Material, sodass **bereits auf 10 ha Saatgut erzeugt** wird, um zeitnah alte Sorten zu ersetzen. Zeitweise wurde zuvor von einigen Anbauern eine Einstellung des Kümmelanbaus erwogen. Mit dem Erhalt und der möglichen Ausdehnung des Kümmelanbaus gehen auch weitere ökonomische und ökologische Vorteile einher. So ermöglicht Kümmel eine Ausweitung der Fruchtfolge mit positiven phytosanitären Aspekten, wodurch Pestizide reduziert werden können. Insbesondere während der Blüte bietet Kümmel zudem vielen pollen- und nektarsammelnden Insekten eine Nahrungsquelle.

1-3 Jahre nach Projektende:

Unter klimatischen Veränderungen stellt der sommerannuelle Anbau jedoch auch bei Verbesserung des Ertragspotentials ein Anbaurisiko dar. Schließlich führen lange Trockenheits- und Hitzeperioden bei fast allen Kulturarten in Deutschland zu erheblichen Ertragsverlusten. Der Etablierung des winterannuellen Anbaus ist daher eine große Bedeutung zur Minderung des Anbaurisikos beizumessen. Im besten Fall werden sowohl Frühjahrs- als auch Herbstsaaten zur Risikoverteilung durchgeführt. Zum Projektende wird Zuchtmaterial mit moderater Winterhärte und (gegenüber aktuellen Sorten) mindestens leicht erhöhtem Ätherischölgehalt zur Verfügung stehen, das als Übergangslösung bis zur Entwicklung einer besser angepassten winterannuellen Sorte genutzt werden kann. Der Kümmelanbau wird dadurch weiter abgesichert. Das entwickelte Zuchtmaterial wird auch eine bessere Eignung für den Ökolandbau aufweisen, weil bei früher Blüte geringere Pathogenbelastungen zu erwarten sind. Im Ökolandbau liegen erwartungsgemäß große Wachstumschancen.

3-4 Jahre nach Projektende:

Innerhalb von 3 Jahren nach Projektende kann unter Voraussetzung einer weiteren Förderung der Züchtungsforschung an Kümmel hochwertiges Zuchtmaterial für den winterannuellen Anbau entwickelt werden, wodurch das Anbaurisiko deutlich reduziert werden wird.

Notwendige nächste Phase bzw. notwendige nächste innovatorische Schritte zur erfolgreichen Umsetzung der Ergebnisse:

Die Entwicklung des sommerannuellen Materials, die bereits 2017 begonnen wurde und auch von Material aus Züchtungsprojekten in den 90er Jahren profitieren konnte, kann als abgeschlossen betrachtet werden. Beim sommerannuellen Anbau sollte über das Projektende hinaus eine Evaluierung der Synthetischen Populationen stattfinden, weil es in späteren Generationen zu einem Leistungsrückgang kommen kann. So könnte die optimale Generation für den Anbau bestimmt werden. Für diese Analysen besteht kein Drittmittelbedarf.

Um hochwertiges sortenfähiges Zuchtmaterial für den winterannuellen Anbau fortzuentwickeln, wird eine nächste Phase notwendig sein, zumal dieses Zuchtprogramm erst 2020/2021 begonnen wurde. Die genetische Ausgangsbasis wurde im Projekt durch Kreuzungen erfolgreich geschaffen durch weitere Selektionsschritte vorangetrieben. Eine privatwirtschaftliche Fortsetzung der Züchtung ist für die Betriebe finanziell nicht darstellbar. Um Material mit fixierten genetischen Eigenschaften zu entwickeln ist eine Drittmittelfinanzierung für 3 Jahre notwendig und ausreichend.

Moderne molekulargenetische Marker für Kreuzungsnachweise sind für Kümmel etabliert. Ein nächster Schritt wäre die Identifizierung von genetischen Markern, die mit wichtigen Merkmalen wie dem Kornsitz gekoppelt sind. Durch die Marker-gestützte Selektion könnten weitere Züchtungsschritte deutlich beschleunigt und präzisiert werden. Kartierungspopulationen für den Kornsitz sind entwickelt und könnten mit relativ geringem Aufwand phänotypisiert und genotypisiert werden.

3. Erkenntnisse von Dritten

Uns sind im Laufe des Projektes keine neuen züchterischen oder wissenschaftlichen Entwicklungen oder Erkenntnisse auf dem Gebiet des Vorhabens von anderen Arbeitsgruppen zur Kenntnis gelangt. Arbeitsgruppen in Finnland und Kanada wollen Forschungsarbeiten aufgrund des Klimawandels aber wiederaufnehmen.

4. Veröffentlichungen

Im Peer-review Verfahren

von Maydell, Daniel; Brandes, Julia; Lehnert, Heike; Junghanns, Wolfram; Marthe, Frank (2021): Breeding synthetic varieties in annual caraway: observations on the outcrossing rate in a polycross using a high-throughput genotyping system. *Euphytica*. 217, 1. Doi: 10.1007/s10681-020-02732-5

von Maydell, Daniel; Stache, Anne-Marie; El Menuawy, Ahmed; Gemmer, Mathias Ruben; Hähnel, Urs; Junghanns, Wolfram; Marthe, Frank (2021): On heterosis, inbreeding depression and general combining ability in annual caraway (*Carum carvi*). *Euphytica*. 217, 163. Doi: 10.1007/s10681-021-02893-x

von Maydell, Daniel; Keilwagen, Jens; Lehnert, Heike; Berner, Thomas; Marthe, Frank (2022): On the search for the vernalization locus in caraway (*Carum carvi*) using genotyping by sequencing data. *Themenheft*. 74 (11-12), 263-270. Doi: 10.5073/JfK.2022.11-12.06

von Maydell, Daniel; Beleites, Claudia; Stache, Anne-Marie; Riewe, David; Krähmer, Andrea; Marthe, Frank (2024): Genetic variation of annual and biennial caraway (*Carum carvi*) germplasm offers diverse opportunities for breeding. *Industrial Crops and Products*. 208, 117798. Doi: 10.1016/j.indcrop.2023.117798

Dissertation

Baron von Maydell, Daniel (2022): Improving yield and essential oil content in annual caraway accompanied by utilization of molecular-genetic methods. (Dissertationen aus dem Julius Kühn-Institut). Quedlinburg, 86 Seiten Doi: 10.5073/20221115-083801

Weitere Beiträge in Zeitschriften und Tagungsbänden

von Maydell, Daniel (2021): Züchterische Verbesserung des einjährigen Kümmels unter Einführung molekulargenetischer Methoden. Kolloquium JKI-Berlin am 28.09.2021

von Maydell, Daniel; Junghanns, Wolfram; Marthe, Frank (2022): Neues aus der Kümmelzüchtung: Über Ertrag, Ätherischölgehalt und Winterhärte. Bernburger Winterseminar 2022

von Maydell, Daniel (2023): PCR Allele Competitive Extension (PACE). Plant Genotyping: Methods and Protocols. (Methods in Molecular Biology 2638). New York, USA, 263-271. Doi: 10.1007/978-1-0716-3024-2_18

von Maydell, D., Marthe, F., 2022. Improving annual caraway (*Carum carvi*) under challenging climatic conditions. GPZ main bi-annual conference 2022, Breeding plants for tomorrow's world – challenges and solutions, 12.-14. September 2022, Heinrich-Heine-University Düsseldorf, Book of Abstracts.

von Maydell, D., Hammer, M., Junghanns, W., Marthe, F., 2024. Evaluierung genetischer Ressourcen von Kümmel (*Carum carvi*) als Voraussetzung zur Züchtung klimaangepasster Sorten. 34. Bernburger Winterseminar Arznei- und Gewürzpflanzen, 20. - 21.02.2024, Tagungsbroschüre, Bernburger Winterseminar Arznei- und Gewürzpflanzen. <https://doi.org/10.5073/20240131-085854-0>

Erfolgskontrollbericht¹

Zuwendungsempfänger: Julius Kühn-Institut, Quedlinburg	Förderkennzeichen: 2220NR103A
Vorhabenbezeichnung: Erhöhung des Ertrages und des Ätherischölgehaltes von einjährigem Kümmel für den sommerannuellen und winterannuellen Anbau	
Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2021 bis 31.05.2024	

1. Beitrag zu den förderpolitischen Zielen

Das durchgeführte Projekt stand im Fokus des Förderschwerpunkts „Züchtung zur Verbesserung der Ertrags- und Qualitätseigenschaften von Rohstoffpflanzen aus landwirtschaftlicher Produktion“ des Förderprogramms "Nachwachsende Rohstoffe" (FPNR) des BMEL. Dabei wurden besonders folgende fachspezifische Themen berührt:

- Steigerung des Flächenertrags
- Verbesserung agronomischer Merkmale
- Stresstoleranz gegenüber abiotischen Schadeinflüssen
- Erweiterung der Palette der Rohstoffpflanzen
- Optimierung hinsichtlich verfügbarer Inhaltsstoffe bzw. Wirkstoffgehalte

Mit Einführung Synthetischer Populationen konnten für den sommerannuellen Anbau höhere Erträge und ein höherer Ätherischölgehalt realisiert werden. Für 2025 ist bereits geplant, die alten sommerannuellen Sorten weitgehend zu ersetzen. Damit wurde der Kümmelanbau in Deutschland gestärkt und eine Sonderkultur bleibt in der Fruchtfolge erhalten. Für den winterannuellen Anbau konnten sehr gute Fortschritte bei der Selektion auf Winterhärte und hohen Ätherischölgehalt erzielt werden. Durch partielle Umstellung auf die Herbstaussaat wird der Kümmel besser an die klimatischen Veränderungen angepasst sein.

2. Erzielte Ergebnisse

Züchtung für den winterannuellen Anbau

Bei einem Vergleich von Septemberaussaat mit einer Märzsaat im Leistungstest konnte erstmalig das Potential zur Reduktion des Anbaurisikos durch die Herbstsaat gezeigt werden. Während die Märzsaat im trockenen Jahr 2022 sehr geringe Erträge lieferte, konnten bei der Herbstsaat hohe Erträge erzielt werden. In Jahren mit guten Niederschlägen wie 2023 waren dagegen Winterung und Sommerung annähernd gleichwertig.

Durch Kreuzung von ätherischölreichen Linien mit einer winterharten Sorte konnten erfolgreich 19 Populationen erzeugt werden, die beide Merkmale kombinieren. Zum derzeitigen Zeitpunkt haben vier Selektionen auf Winterhärte und drei Selektionen auf höheren Ätherischölgehalt stattgefunden. Eine Population erreicht für beide Merkmale bereits das angestrebte Selektionsziel.

Als Übergangslösung können Synthetische Populationen aus Linien mit mittlerer Winterhärte winterannuell angebaut werden. Hierbei ergibt sich allerdings ein moderates bis größeres Anbaurisiko. Die Linien mit mittlerer Winterhärte haben meist einen mittleren Ätherischölgehalt. Testweise erstellte Populationen wurden 2021/2022 in Parzellen erstmalig zu verschiedenen Aussaatzeitpunkten geprüft. Bei einer Septembersaat wurden deutlich höhere Erträge als bei der Märzsaat erzielt. Die Populationen erreichten zwar höhere Gehalte an ätherischem Öl als die Sorte Aprim, jedoch war der Ätherischölgehalt insgesamt auf einem niedrigen Niveau (< 3 ml/100g).

¹ Siehe auch **MERKBLATT ZUM ABSCHLUSSBERICHT**

Das Berichtsblatt ist bei Verbundvorhaben für jedes Teilvorhaben separat zu erstellen.

Züchtung für den sommerannuellen Anbau

Es konnten einige Linien mit hohem Ätherischölgehalt und moderater Inzuchtdepression entwickelt werden. 10 Linien sind als besonders wertvoll einzuschätzen. Aus diesen Linien wurden Synthetische Populationen aufgebaut, die 2022 als Syn1 und 2023 als Syn2 getestet wurden. Diese zeigten höhere Erträge (min > 10% Mehrertrag) sowie einen höheren Ätherischölgehalt (3,1 bis 4,6 ml/100 g) als die aktuellen Sorten im sommerannuellen Anbau Sprinter und Ines (2,5 ml/100 g) in 2023. In der Folge werden diese Synthetischen Populationen die alten Sorten ersetzen.

3. Fortschreibung des Verwertungsplans

3.1. Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte

Im Laufe des Berichtszeitraums wurden keine Schutzrechte angemeldet oder erteilt. Die Züchtung hat noch nicht die finale Phase der Sortenentwicklung erreicht.

3.2. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont)

Kurzfristig (Unmittelbar im Anschluss an das Projekt):

Ertragreiches und ätherischöl-reiches Zuchtmaterial für den sommerannuellen Anbau wird zum Projektende zur Verfügung stehen. Durch den erhöhten Ätherischölgehalt wird eine Vermarktungsmöglichkeit auf dem pharmazeutischen Markt abgesichert. Damit können höhere Preise erzielt werden. Durch das höhere Ertragspotential wird die Gewinnmarge erhöht. Dadurch können über mehrere Jahre betrachtet, Anbaujahre mit witterungsbedingt schlechten Erträgen besser ausgeglichen werden. Die am Projekt beteiligten Kümmelanbauer zeigten zuletzt großes Interesse am entwickelten Material, sodass bereits auf 10 ha Saatgut erzeugt wird, um zeitnah alte Sorten zu ersetzen. Zeitweise wurde zuvor von einigen Anbauern eine Einstellung des Kümmelanbaus erwogen. Mit dem Erhalt und der möglichen Ausdehnung des Kümmelanbaus gehen auch weitere ökonomische und ökologische Vorteile einher. So ermöglicht Kümmel eine Ausweitung der Fruchtfolge mit positiven phytosanitären Aspekten, wodurch Pestizide reduziert werden können. Insbesondere während der Blüte bietet Kümmel zudem vielen pollen- und nektarsammelnden Insekten eine Nahrungsquelle.

Mittelfristig (in ca. 1-4 Jahren):

Unter klimatischen Veränderungen stellt der sommerannuelle Anbau jedoch auch bei Verbesserung des Ertragspotentials ein Anbaurisiko dar. Schließlich führen lange Trockenheits- und Hitzeperioden bei fast allen Kulturarten in Deutschland zu erheblichen Ertragsverlusten. Der Etablierung des winterannuellen Anbaus ist daher eine große Bedeutung zur Minderung des Anbaurisikos beizumessen. Im besten Fall werden sowohl Frühjahrs- als auch Herbstsaaten zur Risikoverteilung durchgeführt. Zum Projektende wird Zuchtmaterial mit moderater Winterhärte und (gegenüber aktuellen Sorten) mindestens leicht erhöhtem Ätherischölgehalt zur Verfügung stehen, das als Übergangslösung bis zur Entwicklung einer besser angepassten winterannuellen Sorte genutzt werden kann. Der Kümmelanbau wird dadurch weiter abgesichert. Das entwickelte Zuchtmaterial wird auch eine bessere Eignung für den Ökolandbau aufweisen, weil bei früher Blüte geringere Pathogenbelastungen zu erwarten sind. Im Ökolandbau liegen erwartungsgemäß große Wachstumschancen.

Langfristig (>4 Jahre):

Innerhalb von 3 Jahren nach Projektende kann unter Voraussetzung einer weiteren Förderung der Züchtungsforschung an Kümmel hochwertiges Zuchtmaterial für den winterannuellen Anbau entwickelt werden, wodurch das Anbaurisiko deutlich reduziert werden wird.

3.3. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont)

Kurzfristig (Unmittelbar im Anschluss an das Projekt):

Die Züchtungsmethodik unter Nutzung des gemischten Bestäubungssystems von Kümmel hat sich als sehr effektiv erwiesen und könnte auch für zukünftige Züchtungsaktivitäten genutzt werden.

Moderne molekulargenetische Markersysteme wurden im Projekt entwickelt, die in Folgeprojekten und von anderen Wissenschaftlern genutzt werden können.

Die wissenschaftlichen Erkenntnisse und Methoden zu Kümmel lassen sich teilweise auch für andere Kulturen im Bereich Arznei- und Gewürzpflanzen nutzen. So entwickelte sich u-a. eine Vernetzung mit einem Projekt zur Züchtungsforschung an Anis.

Erhobene wissenschaftliche Daten und Erkenntnisse wurden auf Fachtagungen vorgestellt und nach Abschluss von meist mehrjährigen Versuchsblöcken in englischer Sprache in peer-reviewed Open-Access-Journals publiziert. Zwei Publikationen befinden sich noch in Präparation. Teils wurden Ergebnisse auch zusätzlich in deutscher Sprache zugänglich gemacht. Wichtig ist hierbei nicht nur der Transfer in die wissenschaftliche Gemeinschaft, sondern auch der Transfer in die Agrarbetriebe. Hierfür wurden 2021 und 2022 auch Feldbegehungen mit Kümmelanbauern durchgeführt.

3.4. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Eine weitere Projektphase vorausgesetzt kann sortennahes Zuchtmaterial für den winterannuellen Anbau entwickelt werden, das besser an die Herausforderungen durch den Klimawandel angepasst ist.

Die wissenschaftlichen Ergebnisse und etablierten Methoden wurden oder werden publiziert und stehen für zukünftige Forschungsvorhaben zur Verfügung.

4. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Ein Verfahren zur beschleunigten Entwicklung von Kümmellinien durch Single Seed Descent konnte nicht etabliert werden, weil ein Standardprotokoll nicht die gewünschten Effekte gezeigt hat. Umfangreichere Versuche wären notwendig gewesen, die im Projekt mit Priorität auf die Züchtungsvorhaben zeitlich nicht möglich waren.

5. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer

Veröffentlichungen im peer-review Verfahren

von Maydell, Daniel; Brandes, Julia; Lehnert, Heike; Junghanns, Wolfram; Marthe, Frank (2021): Breeding synthetic varieties in annual caraway: observations on the outcrossing rate in a polycross using a high-throughput genotyping system. *Euphytica*. 217, 1. Doi: 10.1007/s10681-020-02732-5

von Maydell, Daniel; Stache, Anne-Marie; El Menuawy, Ahmed; Gemmer, Mathias Ruben; Hähnel, Urs; Junghanns, Wolfram; Marthe, Frank (2021): On heterosis, inbreeding depression and general combining ability in annual caraway (*Carum carvi*). *Euphytica*. 217, 163. Doi: 10.1007/s10681-021-02893-x

von Maydell, Daniel; Keilwagen, Jens; Lehnert, Heike; Berner, Thomas; Marthe, Frank (2022): On the search for the vernalization locus in caraway (*Carum carvi*) using genotyping by sequencing data. *Themenheft*. 74 (11-12), 263-270. Doi: 10.5073/JfK.2022.11-12.06

von Maydell, Daniel; Beleites, Claudia; Stache, Anne-Marie; Riewe, David; Krähmer, Andrea; Marthe, Frank (2024): Genetic variation of annual and biennial caraway (*Carum carvi*) germplasm offers diverse opportunities for breeding. *Industrial Crops and Products*. 208, 117798. Doi: 10.1016/j.indcrop.2023.117798

Dissertation

Baron von Maydell, Daniel (2022): Improving yield and essential oil content in annual caraway accompanied by utilization of molecular-genetic methods. (Dissertationen aus dem Julius Kühn-Institut). Quedlinburg, 86 Seiten Doi: 10.5073/20221115-083801

Weitere Beiträge in Zeitschriften und Tagungsbänden

von Maydell, Daniel (2021): Züchterische Verbesserung des einjährigen Kümmels unter Einführung molekulargenetischer Methoden. Kolloquium JKI-Berlin am 28.09.2021

von Maydell, Daniel; Junghanns, Wolfram; Marthe, Frank (2022): Neues aus der Kümmelzüchtung: Über Ertrag, Ätherischölgehalt und Winterhärte. Bernburger Winterseminar 2022

von Maydell, Daniel (2023): PCR Allele Competitive Extension (PACE). *Plant Genotyping: Methods and Protocols*. (Methods in Molecular Biology 2638). New York, USA, 263-271. Doi: 10.1007/978-1-0716-3024-2_18

von Maydell, D., Marthe, F., 2022. Improving annual caraway (*Carum carvi*) under challenging climatic conditions. GPZ main bi-annual conference 2022, Breeding plants for tomorrow's world – challenges and solutions, 12.-14. September 2022, Heinrich-Heine-University Düsseldorf, Book of Abstracts.

von Maydell, D., Hammer, M., Junghanns, W., Marthe, F., 2024. Evaluierung genetischer Ressourcen von Kümmel (*Carum carvi*) als Voraussetzung zur Züchtung klimaangepasster Sorten. 34. Bernburger Winterseminar Arznei- und Gewürzpflanzen, 20. - 21.02.2024, Tagungsbroschüre, Bernburger Winterseminar Arznei- und Gewürzpflanzen. <https://doi.org/10.5073/20240131-085854-0>

6. Ausgaben- und Zeitplanung

Mit Verlängerung der Projektlaufzeit um 2 Monate konnte die Sicherung des Zuchtmaterials für Folgeprojekte bzw. weitere züchterische Schritte gewährleistet werden. Davon abgesehen konnte die Zeit- und Ausgabenplanung in den zentralen Versuchen eingehalten werden.

Berichtsblatt - Kurzfassung des Vorhabens ¹

Zuwendungsempfänger:
Julius Kühn-Institut, Quedlinburg

Förderkennzeichen:
2220NR103A

Thema:

Erhöhung des Ertrages und des Ätherischölgehaltes von einjährigem Kümmel für den sommerannuellen und winterannuellen Anbau

Laufzeit des Vorhabens:

01.04.2021 bis 31.05.2024

Projektbeschreibung:

Zentrales Ziel des Projektes war die Verbesserung der Anbauwürdigkeit von einjährigem Kümmel (*Carum carvi*) und damit langfristig die Ausdehnung der Anbauflächen in Deutschland, auch und insbesondere in Zeiten des Klimawandels. Dafür ist die Entwicklung leistungsstarker und ätherischölreicher Sorten für die pharmazeutische Anwendung erforderlich. Es sollte sowohl Zuchtmaterial für den sommerannuellen als auch den winterannuellen Anbau (Herbstaussaat) entwickelt werden. Sowohl der sommerannuelle als auch der winterannuelle Anbau erlauben eine einfache Integration in die Fruchtfolgen. Die Herbstaussaat ermöglicht zudem die Nutzung der Niederschläge zwischen Herbst und Frühjahr für Keimung und vegetatives Wachstum und führt zu einer früheren Blüte und Reife, wodurch der negative Einfluss von Trockenheitsperioden im Sommer reduziert wird. Die partielle Umstellung auf einen winterannuellen Anbau stellt somit eine wesentliche Anpassung an die klimatischen Veränderungen dar und senkt das Anbaurisiko für die Landwirte. Vorläufig nur für die Züchtung sommerannueller Sorten sollten Synthetische Populationen entwickelt werden, um den 2019 erstmals für Kümmel festgestellten Heterosiseffekt zu nutzen. Im Projekt sollte die Vorselektion von Zuchtmaterial mit geeignetem Vernalisationsbedarf, einer guten Winterhärte, festem Kornsitze und einem hohen Ätherischölgehalt für den winterannuellen Anbau erfolgen. Dieses Zuchtmaterial sollte die Grundlage legen, um in einer möglichen nächsten Phase Zuchtlinien mit fixierten genetischen Eigenschaften zu entwickeln, die zu ertragreichen Synthetischen Populationen zusammengestellt werden können.

Projektergebnisse:Züchtung für den winterannuellen Anbau

Bei einem Vergleich von Septemberaussaat mit einer Märzsaat im Leistungstest konnte erstmalig das Potential zur Reduktion des Anbaurisikos durch die Herbstaussaat gezeigt werden. Während die Märzsaat im trockenen Jahr 2022 sehr geringe Erträge lieferte, konnten bei der Herbstaussaat hohe Erträge erzielt werden. In Jahren mit guten Niederschlägen wie 2023 waren dagegen Winterung und Sommerung annähernd gleichwertig.

Durch Kreuzung von ätherischölreichen Linien mit einer winterharten Sorte konnten erfolgreich 19 Populationen erzeugt werden, die beide Merkmale kombinieren. Zum derzeitigen Zeitpunkt haben vier Selektionen auf Winterhärte und drei Selektionen auf höheren Ätherischölgehalt stattgefunden. Eine Population erreicht für beide Merkmale bereits das angestrebte Selektionsziel. Im nächsten Schritt können aus diesen Populationen Linien mit fixierten genetischen Eigenschaften selektiert werden.

Züchtung für den sommerannuellen Anbau

Es konnten einige Linien mit hohem Ätherischölgehalt und moderater Inzuchtdepression entwickelt werden. 10 Linien sind als besonders wertvoll einzuschätzen. Aus diesen Linien wurden Synthetische Populationen aufgebaut, die 2022 als Syn1 und 2023 als Syn2 getestet wurden. Diese zeigten höhere Erträge (min > 10% Mehrertrag) sowie einen höheren Ätherischölgehalt (3,1 bis 4,6 ml/100 g) als die aktuellen Sorten im sommerannuellen Anbau Sprinter und Ines (2,5 ml/100 g) in 2023. In der Folge werden diese Synthetischen Populationen die alten Sorten ersetzen.

¹ Das Berichtsblatt ist bei Verbundvorhaben für jedes Teilvorhaben separat zu erstellen.

Short Project Description ¹

Beneficiary: Julius Kühn-Institute, Quedlinburg	Project number: 2220NR103A
Project title: Increasing yield and essential oil content of annual caraway via production and evaluation of homozygous lines and F ₁ populations	
Project period: 01.04.2021 bis 31.05.2024	

Project objective:

The central goal of the project was to improve the cultivability of annual caraway (*Carum carvi*) and thus to expand the cultivation area in Germany in the long term, especially in times of climate change. This requires the development of high-performance varieties rich in essential oils for pharmaceutical use. Breeding material should be developed for summer annual and winter annual cultivation (autumn sowing). Both summer and winter annual cultivation allow easy integration into crop rotations. Autumn sowing also allows the use of rainfall between autumn and spring for germination and vegetative growth and leads to earlier flowering and maturity, reducing the negative impact of summer droughts. The partial switch to winter annual cultivation represents a significant adaptation to climatic changes and reduces the cultivation risk for farmers. For the time being, synthetic populations should only be developed for the breeding of summer annual varieties in order to take advantage of the heterosis effect that was first discovered for caraway in 2019. The aim of the project was to pre-select breeding material with suitable vernalization requirements, good winter hardiness, firm grain setting and a high essential oil content for winter annual cultivation. This breeding material should lay the foundation for developing breeding lines with fixed genetic characteristics in a possible next phase. Finally, these lines can be assembled into high-yield synthetic populations.

Project results:Breeding for winter annual cultivation

When comparing sowing in September with sowing in March, the potential for reducing the cultivation risk through autumn sowing was shown for the first time. While sowing in March in the dry year of 2022 delivered very low yields, autumn sowing achieved high yields. In years with good rainfall, such as 2023, wintering and summering were almost equivalent.

By crossing essential oil-rich lines with a winter-hardy variety, 19 populations combining both traits were successfully created. At the moment, four selections have been made for winter hardiness and three selections for higher essential oil content. A population already achieves the desired selection goal for both characteristics. In the next step, lines with fixed genetic characteristics can be selected from these populations.

Breeding for summer annual cultivation

Some lines with high essential oil content and moderate inbreeding depression were developed. 10 lines are considered particularly valuable. Synthetic populations were built from these lines, which were tested as Syn1 in 2022 and as Syn2 in 2023. These showed higher yields (min > 10% additional yield) and a higher essential oil content (3.1 to 4.6 ml/100 g) than the current varieties in summer annual cultivation, called Sprinter and Ines (2.5 ml/100 g) in 2023. As a result, these synthetic populations will replace the old varieties.