

LupiBreed - Erhöhung der Ertragsstabilität und Ertragsleistung bei Süßlupinen als agrarökologisch wertvolle Eiweißpflanze

LupiBreed -Improving Yield Potential, Yield Stability and Seed Quality of Lupins as Protein Plants

FKZ: 14EPS008

Projektnehmer:

Saatzucht Steinach GmbH & Co KG
Klockower Straße 11, 17219 Bocksee
Tel.: +49 39921 717-10
Fax: +49 39921 717-17
E-Mail: info@saatzucht.de
Internet: www.saatzucht.de

Autoren:

Dieterich, Regine; Saal, Bernhard

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen der BMEL Eiweißpflanzenstrategie.

Die inhaltliche Verantwortung für den vorliegenden Abschlussbericht inkl. aller erarbeiteten Ergebnisse und der daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen liegt beim Autor / der Autorin / dem Autorenteam. Bis zum formellen Abschluss des Projektes in der Geschäftsstelle Eiweißpflanzenstrategie können sich noch Änderungen ergeben.

Projektabschlussbericht



Zuwendungsempfänger:

Saatzucht Steinach GmbH & Co KG

Förderkennzeichen:

2814EPS008

Vorhabenbezeichnung:

Erhöhung der Ertragsstabilität und Ertragsleistung bei Süßlupinen als agrarökologisch wertvolle Eiweißpflanze (LupiBreed)

Laufzeit des Vorhabens:

15.02.2015 - 14.02.2018

Berichtszeitraum:

15.02.2015 - 14.02.2018

Projektkoordinator:

Dr. Ruge-Wehling, Brigitte

Kooperationspartner:

Julius Kühn-Institut (JKI)

Institut für Züchtungsforschung an landwirtschaftlichen Kulturen (ZL) und Institut für Resistenzforschung und Stresstoleranz (RS)

Rudolf-Schick-Platz 3a

18190 Sanitz OT Groß Lüsewitz

IPK

Leibniz Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK)

Correnstraße 3

06466 Stadt Seeland/OT Gatersleben

Thünen

Institut für ökologischen Landbau

Trenthorst 32

23847 Westerau

GFPi

Gemeinschaft zur Förderung von Pflanzeninnovationen e.V.

Kaufmannstraße 71

53115 Bonn

Kurzfassung

Titel

Erhöhung der Ertragsleistung, Ertragsstabilität und Qualität bei Süßlupinen als agrarökologisch wertvolle Eiweißpflanzen (LupiBreed)

Autoren

Regine Dieterich

Dr. Bernhard Saal

Adresse

Saatzucht Steinach GmbH & Co KG

PlantaServ GmbH

Klockower Straße 11

Erdinger Straße 82a

17219 Bocksee

85356 Freising

regine.dieterich@saatzucht-steinach.de

Ziel des Projekts ist die züchterische Verbesserung des Kornertrags, der Ertragsstabilität und der Samenqualität bei der Blauen und Gelben Süßlupine. Langfristig ist es erforderlich, die schmale genetische Basis des Zuchtmaterials durch die Einkreuzung wertvoller pflanzengenetischer Ressourcen zu verbreitern. Neben Kornertrag, Rohprotein- und Alkaloidgehalt wurden die ertragsbeeinflussenden Merkmale Anthraknoseresistenz und Platzfestigkeit der Hülsen bearbeitet. Mit Hilfe molekularer Marker konnten die beiden Anthraknose-Resistenzgene *Lanr1* und *LanrBo* doppelt homozygot in 14 Zuchtlinien kombiniert werden. In einem markergestützten Rückkreuzungsprogramm wurde die Anthraknoseresistenz mit jeweils einem der beiden Gene in ertragsstarke Mutationslinien eingelagert. Die Platzfestigkeit im Zuchtmaterial konnte ebenfalls durch markergestützte Kombination der beiden Gene *tardus* und *lentus* verbessert werden. In der BC₁ traten 42 Genotypen auf, in denen die beiden Gene homozygot vorlagen. Darüber hinaus wurden in einer dreijährigen Mikroprüfung früh und spät reifende Mutationslinien mit hoher Platzfestigkeit identifiziert. In einer Leistungsprüfung mit ausgewählten Mutationslinien übertraf in den beiden Reifegruppen im Dreijahresmittel jeweils eine Linie die Ertragsleistung und den Rohproteingehalt der Referenzsorte Boregine. In einer einjährigen und einortigen Prüfung mit 41 ausgewählten Genbankakzessionen hoben sich mehrere Herkünfte mit deutlich höherem Kornertrag und Rohproteingehalt von den jeweiligen Standardsorten Boregine bzw. Probor ab. Mindestens drei Akzessionen werden in das Zuchtprogramm integriert.

Abstract

Title

Improving Yield Potential, Yield Stability and Seed Quality of Lupins as Protein Plants (LupiBreed)

Authors

Regine Dieterich

Dr. Bernhard Saal

Address

Saatzucht Steinach GmbH & Co KG

PlantaServ GmbH

Klockower Straße 11

Erdinger Straße 82a

17219 Bocksee

85356 Freising

regine.dieterich@saatzucht-steinach.de

The major goal of the project is the genetic improvement of grain yield, yield stability and seed quality in narrow-leafed and yellow lupin. In the long term, the narrow genetic base of elite breeding material demands for broadening germplasm by introgression of valuable genetic resources. Besides grain yield, protein and alkaloid content the project also addresses yield influencing traits such as anthracnose resistance and pod shattering resistance. Using molecular markers the two anthracnose resistance genes *Lanr1* and *LanrBo* were pyramided in homozygous state in 14 breeding lines. Either gene was introgressed into high-yielding mutant lines in a marker-assisted backcross scheme. Improvement of pod shattering resistance in elite material could be achieved by marker-assisted pyramidization of the genes *tardus* and *lentus*, yielding 42 BC₁ individuals in double-homozygous state. Moreover, early and late maturing pod shattering resistant mutant lines were identified in a three-year micro-plot trial. In a three-year yield trial one mutant line from each maturity group exceeded the reference variety Boregine in grain yield and crude protein content. In an evaluation study of genebank material 41 accessions were chosen for a single-year preliminary trial. Several accessions were strikingly superior in grain yield and/or crude protein content to the standard varieties Boregine or Probor, respectively. At least 3 accessions will enter the breeding program of Saatzucht Steinach.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung.....	1
1.1.	Gegenstand des Vorhabens.....	1
1.2.	Ziele und Aufgabenstellung; Bezug zu den Zielen der Eiweißpflanzenstrategie und zur Bekanntmachung.....	1
1.3.	Planung und Ablauf des Vorhabens.....	2
2.	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	3
3.	Material und Methoden	5
3.1.	Kreuzung von Anthraknoseresistenzträgern (AP 1)	5
3.2.	Markergestützte Kreuzung und Selektion von platzfesten Nachkommen	8
3.3.	Mikroprüfungen zur Platzfestigkeit	9
3.4.	Ertragsprüfungen Mutantenlinien	10
3.5.	Screening von Genbankakzessionen.....	11
4.	Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse.....	13
4.1.	Kreuzung von Trägern der Resistenzgene <i>Lanr1</i> und <i>LanrBo</i> (AP 1.3; AP 1.6)	13
4.2.	Kreuzung von ertragreichen Mutantenlinien mit Resistenzträgern von <i>Lanr1</i> sowie <i>LanrBo</i> (AP 1.4; AP 1.5).....	14
4.3.	Markergestütztes Rückkreuzungsprogramm für <i>lentus</i> und <i>tardus</i> (AP 2.1).....	16
4.4.	Mikroprüfung ausgewählter Mutantenlinien im Merkmal Platzfestigkeit (AP 2.2).....	18
4.5.	Leistungsprüfung ausgewählter Mutantenlinien unter konventionellen Anbaubedingungen (AP.3.1)	21
4.6.	Screening und Vermehrung von Genbankakzessionen (AP 6.1und AP 6.3)	23
5.	Diskussion der Ergebnisse.....	25
6.	Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	26
7.	Gegenüberstellung der geplanten zu den erreichten Zielen.....	27
8.	Zusammenfassung.....	27
9.	Literaturverzeichnis	28
10.	Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse	28

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
°C	Grad Celsius
dt/ha	Dezitonne/Hektar
g	Gramm
AP	Arbeitspaket
Anz. Pfl.	Anzahl Pflanzen
BC ₁ , BC ₁ F ₁	1. Rückkreuzungsgeneration
BC ₁ F ₂	Selbstungsgeneration der BC ₁
BC ₂ , BC ₂ F ₁	2. Rückkreuzungsgeneration
BC ₂ F ₂	Selbstungsgeneration der BC ₂
EP	Einzelpflanze
EA	Elitenanlage
HZ	Hülsenzahl
KG/H	Korngewicht je Hülse
KZ	Kornzahl
KZ/H	Kornzahl je Hülse
LP	Leistungsprüfung
LSV	Landessortenversuch
NIR	Nahinfrarot
MP	Mikroprüfung
MW	Mittelwert
PG	Prüfglied
RP	Rohprotein
TKG	Tausendkorngewicht
WT	Wuchstyp

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schema einer Elitenanlage	6
Abbildung 2: Elitenanlage am Standort Bocksee 2017	7
Abbildung 3: Kreuzungsschema	8
Abbildung 4: Temperaturen in den Vegetationszeiten 2015-2017	19
Abbildung 5: Niederschläge in den Vegetationsperioden 2015-2017	19
Abbildung 6: Mittelwerte MP Platzfestigkeit früh.....	20
Abbildung 7: Mittelwerte MP Platzfestigkeit spät	20
Abbildung 8: Reihenanlage Platzfestigkeit.....	21
Abbildung 9: MW Ertrag und RP Gehalt, frühe Reifegruppe.....	22
Abbildung 10: MW Ertrag und RP Gehalt, späte Reifegruppe	23
Abbildung 11: Parzellenertrag der Genbankakzessionen 2017 in Bocksee.....	24
Abbildung 12: Rohproteingehalte der Genbankakzessionen 2017 in Bocksee	24

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der Kreuzungseltern zu AP 1.3	5
Tabelle 2: Übersicht der Kreuzungseltern zu AP 1.4	7
Tabelle 3: Übersicht der Kreuzungseltern mit vorteilhaften Merkmalen (AP 1.4; Kreuzung Wintergeneration 2016/17)	9
Tabelle 4: Technische Daten der MP Platzfestigkeit am Standort Bocksee 2015-2017	10
Tabelle 5: Datum Aussaat und Ernte der LP am Standort Bocksee	11
Tabelle 6: Agrotechnische Maßnahmen in der Vermehrung von Genbankakzessionen 2015-2017	12
Tabelle 7: Genetische Analyse der F ₂ Generation	13
Tabelle 8: Ertragsparameter der relevanten Einzelpflanzen	14
Tabelle 9: Genetische Analyseergebnisse der BC ₁ F ₂	15
Tabelle 10: Mittelwerte und Spannweiten der erfassten Merkmale der homozygot vorliegenden Einzelpflanzen BC ₁ F ₂	15
Tabelle 11: Genetische Untersuchungsergebnisse der BC ₂ F ₁	16
Tabelle 12: Genetische Analyse der BC ₁ F ₂ 2017	16
Tabelle 13: Mittelwerte und Spannweiten der Ertragskomponenten der homozygot vorliegenden Einzelpflanzen BC ₁ F ₂ 2017	17
Tabelle 14: Genetische Analysen der BC ₂ F ₁	18
Tabelle 15: Mittelwerte der Jahre 2015-2017 MP Platzfestigkeit am Standort Bocksee	18
Tabelle 16: Mittelwertergebnisse der LP Mutantenlinien von 2015-2017	22

1. Einführung

1.1. Gegenstand des Vorhabens

Die Blaue und Gelbe Süßlupine (*Lupinus angustifolius* L., *L. luteus* L.) zählen unter den Kulturpflanzen in Deutschland zu den wertvollen großkörnigen Leguminosen. Insbesondere auf leichten Böden sind die beiden Lupinenarten derzeit die einzig verfügbare Eiweißpflanzenalternative. Durch die schnelle Bildung einer tiefen Pfahlwurzel überstehen sie die häufig auftretende Vorsommertrockenheit auf diesen Böden. Weitere positive pflanzenbauliche Aspekte, wie die symbiontische Stickstofffixierung, die Phosphormobilisierung und die Erweiterung der Fruchtfolge sprechen für ihren Anbau. Aufgrund ihrer Nährstoffzusammensetzung und einem deutlich höheren Proteingehalt im Vergleich zu anderen heimischen Eiweißpflanzen sind Lupinen vielseitig einsetzbar. Die hohe Wertigkeit des Proteins und niedrige Alkaloidgehalte moderner Sorten erweitern die Einsatzmöglichkeiten. Die Körner werden zur Erzeugung proteinreicher Konzentratfuttermittel als auch im Bereich der Humanernährung eingesetzt. Somit stellen einheimische Körnerleguminosen eine interessante Alternative für die teuren Sojaimporte dar.

Ein wesentliches Ziel in der züchterischen Bearbeitung ist die Ertrags- und Qualitätssicherung sowie die Verbesserung der Anbaueignung unter verschiedenen Standortbedingungen. Die mangelnde Konkurrenzfähigkeit gegenüber anderen Kulturarten auf besseren Böden begrenzt den Anbau der beiden Lupinenarten auf die nordöstlichen Bundesländer. Stark schwankende Erträge auf leichten Standorten erhöhen das betriebswirtschaftliche Risiko und führen zur Stagnation bzw. zum Rückgang der Anbauflächen. Mit veränderten Wuchstypen und der Verbesserung der Platzfestigkeit der Hülsen kann die Züchtung dazu beitragen, das vorhandene Ertragspotenzial auszuschöpfen und Ertragsschwankungen zu minimieren. Ein weiteres Anbaurisiko birgt die Pilzkrankheit Anthraknose, welche Lupinenbestände vor allem in feucht-warmen Jahren gefährdet und zu signifikanten Ertrags- und Qualitätsverlusten führt. Da bisher keine resistenten Sorten vorliegen, ist die Züchtung bestrebt, die beiden derzeit bekannten Resistenzquellen im Zuchtmaterial zu kombinieren. Die markergestützte Selektion von Genotypen mit Anthraknoseresistenz als auch verbesserter Platzfestigkeit und die damit verbundene Erzeugung von ertragsstabilen und krankheitsresistenten Sorten stellt für die Züchtung ein wichtiges Ziel dar.

1.2. Ziele und Aufgabenstellung; Bezug zu den Zielen der Eiweißpflanzenstrategie und zur Bekanntmachung

Das Verbundprojekt LupiBreed zielt auf die züchterische Verbesserung von Korn-ertrag, Ertragsstabilität und Inhaltsstoffqualität bei der Blauen und Gelben Lupine ab. Die enge genetische Basis des vorhandenen Zuchtmaterials soll durch die Einbeziehung pflanzengenetischer Ressourcen erweitert werden, um auch langfristig Merkmalsverbesserungen erzielen zu können. Mit der Erforschung von pflanzenbau-

lichen Optionen zur Unkrautregulierung sollen dem ökologischen Landbau Alternativen eröffnet werden.

Das Vorhaben soll einen Beitrag dazu leisten, die Rahmenbedingungen für die Ausweitung und die Optimierung des Anbaus heimischer Leguminosen zu verbessern. Es werden Forschungslücken geschlossen und außerdem der Transfer von vorhandenem Wissen beschleunigt, so dass die Wettbewerbsnachteile im Anbau der beiden Lupinenarten verringert werden können. Für die Praxis relevante Ergebnisse sollen mit Hilfe des modellhaften Demonstrationsnetzwerks für Lupine interessierten Nutzern zugänglich gemacht werden.

Im Rahmen der nachfolgend aufgeführten Arbeitspakete stellten sich im Teilprojekt der Saatzucht Steinach folgende Aufgaben, die in Zusammenarbeit mit den Kooperationspartnern JKI und IPK bearbeitet wurden.

- Kreuzung und Selektion von Anthraknoseresistenzträgern *Lanr1* und *LanrBo*
- Kreuzung und Selektion von ertragreichen Mutantenlinien mit Anthraknoseresistenzträger von *Lanr1* und *LanrBo*
- Markergestütztes Kreuzungs- und Rückkreuzungsprogramm für Platzfestigkeit
- Mikroprüfung ausgewählter Mutantenlinien und Zuchtmaterial im Merkmal Platzfestigkeit
- Leistungsprüfung ausgewählter Mutantenlinien unter konventionellen Bedingungen
- Screening und Vermehrung von Genbankakzessionen

Die molekularbiologischen Arbeiten sowie die Zusammenfassung und Auswertung der Versuche über alle Orte wurden am JKI in Groß Lüsewitz durchgeführt und die Ergebnisse an die Saatzucht Steinach transferiert. Nur durch die enge Kooperation von Wissenschaft und Züchtung ist es der Saatzucht Steinach möglich, Zuchtmaterial mit neuen Eigenschaften zu entwickeln.

Die ausgewählten pflanzengenetischen Ressourcen wurden zum Screening und zur Vermehrung vom IPK bereitgestellt. Die am Standort Bocksee erhobenen Daten wurde dem Kooperationspartner zur Auswertung und Nutzung übergeben. Im Hinblick auf die züchterischen Anforderungen wurden interessante Ressourcen am IPK durch das Zusammenführen der Ergebnisse beider Standorte gefiltert und dem Projektpartner übergeben.

1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Der Ablauf des Vorhabens ist in Übereinstimmung mit dem Arbeitsplan des Antrags erfolgt. Bis Projektende wurden alle Meilensteine erreicht.

Den Verlauf des Vorhabens haben im Wesentlichen die vier Hauptarbeitskomplexe geprägt, die alle erfolgreich bearbeitet werden konnten:

- Im Rahmen des 1. Arbeitspaketes erfolgten die Kreuzungskombinationen hinsichtlich Anthraknoseresistenz und Anthraknoseresistenz x Ertrag. Die molekularbiologischen Arbeiten erfolgten am JKI-ZL Groß Lüsewitz. Das Material konnte im Projektzeitraum bis zur BC₁F₂ entwickelt werden.
- Das zweite Arbeitspaket befasste sich mit dem Erstellen von neuem Zuchtmaterial im Hinblick auf die Platzfestigkeit der Hülsen. Durch den Einsatz von PCR-Markern war es dem JKI-ZL möglich, das Kreuzungsmaterial auf das Vorhandensein der Gene *lentus* und *tardus* zu untersuchen. Bereits vorselektierte vorhandene Mutantenlinien des JKI sowie Zuchtmaterial der Saatzucht Steinach wurden auf Platzfestigkeit im Freiland über 3 Versuchsjahre an beiden Standorten geprüft.
- Für die hier bereits erwähnten Mutantenlinien fand über 3 Versuchsjahre am Standort der Saatzucht Steinach wie auch am Standort des Kooperationspartners in Groß Lüsewitz (konventionell und ökologisch) eine Prüfung auf Leistungsfähigkeit und Homogenität statt.
- Gemäß der Planung erfolgten die Vermehrung und das Screening von insgesamt 200 genetischen Ressourcen. So wurden im 1. und 2. Versuchsjahr je 100 Akzessionen gescreent und vermehrt. Für Untersuchungen auf Inhaltsstoffe (RP-Gehalte und Alkaloide) wurden Proben an das JKI-RS abgegeben. Im 3. Versuchsjahr kamen die Akzessionen zum Anbau, die in den beiden vorangegangenen Jahren in mehreren Merkmalen positiv auffielen und daher ein züchterisches Interesse begründet haben.

2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Mit dem deutschlandweit einzigen Zuchtprogramm für die Blaue Lupine kann die Saatzucht Steinach GmbH & Co KG auf langjährige Erfahrungen, auch in der Züchtung der Gelben Lupine, zurückblicken. Die Züchtung wird jährlich auf einer Fläche von rund 20 ha betrieben. Die Züchtung von Süßlupinen geht auf die Arbeiten von Sengbusch zurück. Das Auffinden alkaloidarmer Formen, die bis heute das Ausgangsmaterial für die Züchtung darstellen, hat zu einer Einengung der genetischen Variabilität geführt. Seit 2003 werden wichtige Themen der Züchtungsforschung an Lupinen in Zusammenarbeit mit dem JKI in Groß Lüsewitz bearbeitet. Aus dieser langjährigen Kooperation sind Pflanzenmaterial und wissenschaftliche Kenntnisse hervorgegangen, auf welche die Durchführung des Vorhabens aufbaute. Aus den oben genannten Gründen wurden im Projekt die Arbeitsschwerpunkte Züchtung auf Anthraknoseresistenz mittels Markeranalysen, Prüfung auf Ertrag und Ertragsstabilität an Mutantenlinien, die Problematik Platzfestigkeit und das Screening von Genbankressourcen zur Erweiterung des Genpools verfolgt.

Das vorhandene Sortenspektrum der Saatzucht Steinach zeichnet sich durch eine frühe bis mittlere Reife und geringe Alkaloidgehalte aus. Sortenunterschiede gibt es im

Kornertrag, Rohproteingehalt, Wuchstyp und in der Lagerneigung. Die Ergebnisse der Landessortenversuche zeigen, dass die Blauen Lupinen hohe Kornerträge realisieren können. Die Ertragsstabilität der Lupinen ist nach wie vor als eher gering einzuschätzen. Das Ertragsniveau der Landessortenversuche (LSV) in den Anbaugebieten D Nord/ MV Süd liegt in den Jahren 2014-2016 bei 22 dt/ha, wobei der Standort Baruth mit 33 dt/ha den höchsten Ertrag erzielte. Auf den Löß- und Verwitterungsstandorten wurde im gleichen Zeitraum ein Ertragsniveau von 40 dt/ha erreicht. Auch hier treten hohe Ertragsschwankungen zwischen den Versuchsorten und -jahren auf. In den LSV erreichten einzelne Sorten > 55 dt/ha, dazu gehören die ertragsstarke Sorte Boregine sowie die Sorte Mirabor.

Die Sorte Probor ist kleinkörnig, besitzt dadurch einen hohen Rohproteingehalt (ca. 30% TM), und kann bei mittelhohen Kornerträgen hohe Rohproteinträge realisieren. Mindererträge auf ertragsarmen D-Standorten lassen sich auf Blütenabwurf (30-50 % des Ertragspotenzials), Hülsenplatzen und ungleichmäßige Reife zurückführen.

Anforderungen an die Züchtung bestehen z.B. in der Verbesserung der Ertragsstabilität und der Platzfestigkeit der Blauen Lupine (Landessortenversuche 2016, vorläufiger Versuchsbericht).

Die Blaue Lupine hat im Vergleich zur Gelben und Weißen Lupine eine höhere Toleranz gegenüber dem pilzlichen Erreger der Anthraknose. Ein Befall mit dem Pilz kann zu erheblichen Ertragsausfällen führen. Dabei ist der Krankheitsverlauf vom Standort, den Witterungsbedingungen, dem Infektionsdruck und der Sorte abhängig. Nach etlichen Jahren mit keinem oder nur geringem Befall trat der Erreger 2017 vermehrt auf. Im Land Brandenburg kam es 2017 zur Aberkennung von Saatgut zweier Sorten der Gelben Lupine (35 ha), bei der Blauen Lupine waren 2 Flächen einer bitterstoffarmen und einer bitterstoffhaltigen Sorte mit sehr geringem Befall zu verzeichnen (pers. Mitteilung LELF Brandenburg, Herr Näther) Die bekannten Resistenzgene *Lanr1* aus der australischen Sorte Tanjil (Yang et al. 2004) und *LanrBo* aus Zuchtmaterial der Saatzucht Steinach dienen als Grundlage für die Kreuzungszüchtung. *LanrBo* wurde mit molekularen Markern am JKI-ZL genotypisiert und steht der Züchtung im Rahmen des Projektes zur Verfügung (Fischer et al. 2015).

Auf Grundlage des AiF-Projekts „Kombination traditioneller und innovativer Züchtungsmethoden zur Entwicklung neuartiger Sorten der Blauen Süßlupine“ (Fördernummer 0127004KMD) wurde Mutationsmaterial aus der Sorte Boruta erzeugt. Ergebnisse aus dem Verbundprojekt PlantsProFood (Förderkennzeichen:03WKBV01B) deuten darauf hin, dass einige dieser Linien einen erhöhten Kornertrag gegenüber der Vergleichssorte haben. Diese Linien dienen als Basis für eine Züchtung auf Erhöhung des Ertrages sowie Verbesserung der Ertragsstabilität. Ein sehr großes Hindernis für die weitere Ausdehnung des Lupinenanbaus, vor allem in Gebieten mit heißen und trockenen Sommern, ist das Platzen der Hülsen zur Zeit der Reife. Unter natürlichen Bedingungen kann die Auslese auf Platzfestigkeit nur in Gebieten mit heißen und

trockenen Sommern erfolgen. Niederschlagsreiches und kühles Wetter zur Reife verursacht ein Vermorschen der Hülsen, wodurch die Hülsenspannung nachlässt und das Platzen vermieden wird. In der Blauen Lupine sind zwei Gene für Platzfestigkeit, *tardus* und *lentus* bekannt, welche 1967 von Gladstones und Mitarbeiter veröffentlicht wurden. Für beide Gene sind molekulare Marker entwickelt worden (Li et al. 2010, Boersma et al. 2008) und können für Kreuzungen und die Selektion auf Platzfestigkeit genutzt werden.

Als Folge der kurzen Domestikationsgeschichte, insbesondere der Züchtung auf alkaloidarme Typen in Verbindung mit früher Reife ist die genetische Basis der Blauen Süßlupine sehr schmal (Berger et al. 2013). Cowling et al. (2009) schlagen ein Rückkreuzungsverfahren vor, um wertvolle Donorgene in Elitematerial einzulagern, ohne die Mehrzahl der Domestikationsgene zu verlieren. Neben der Australian Lupin Collection (ALC) mit 4591 Akzessionen beherbergt das Leibniz-Institut in Gatersleben (IPK) die zweitgrößte Sammlung von Arten der Gattung *Lupinus*. Um die genetische Variabilität im Zuchtmaterial der Saatzucht Steinach zu erhöhen, soll ein Teil dieser Kollektion der Blauen und Gelben Lupine im Projekt einem phänotypischen und einem Qualitäts-Screening unterzogen werden.

3. Material und Methoden

3.1. Kreuzung von Anthraknoseresistenzträgern (AP 1)

Das zu kreuzende Material bestand aus der Resistenzressource Tanjil (*Lanr1*) und dem Resistenzträger Bo 7212 (*LanrBo*). Weiterhin wurden Linien der Saatzucht genutzt, in denen die Resistenz *Lanr1* nachgewiesen werden konnte. In Tabelle 1 wird die Übersicht der Kreuzungseltern aufgeführt.

Tabelle 1: Übersicht der Kreuzungseltern zu AP 1.3

Mutter	Vater
Tanjil	Bo 7212
Bo 7212	Tanjil
14EA0306	Bo 7212
14EA0310	Bo 7212
Bo14EA0319	Bo 7212
Bo14EA0320	Bo 7212

Aus den 2015 durchgeführten Kreuzungen entstanden 35 Kreuzungsfamilien, die 2016 zur Erzeugung der F₁ Generation in Einzelreihen ausgelegt wurden. Für die genetische Analyse der Pflanzen wurden Blattproben genommen und dem Kooperationspartner JKI-ZL übergeben. Die F₁ Generation wurde einzelpflanzenweise geerntet und die Ertragsparameter der Nachkommen festgestellt. Die Auswertung der bereitge-

stellten Markerdaten ergab, dass in 4 Linien beide Resistenzallele heterozygot vorliegen. Von diesen F₁ Linien wurden im letzten Projektjahr 13 Einzelpflanzen in Elitenanlagen (siehe Abbildung 1) zur Beobachtung und Selektion ausgelegt. Die Aussaat der F₂ Generationen erfolgte mit der Einzelkornlegemaschine Hege 95. Je Anlage wurden 6 Reihen mit maximal 25 Korn je Reihe gelegt. Der Reihenabstand ist auf 20 cm der Pflanzenabstand auf 10 cm eingestellt. Durch das gewählte Aussaatverfahren entstehen die Vorteile, einer gleichmäßigen Ablage der Körner, einem definierten Standraum je Pflanze verbunden mit einer guten Beurteilungsmöglichkeit.

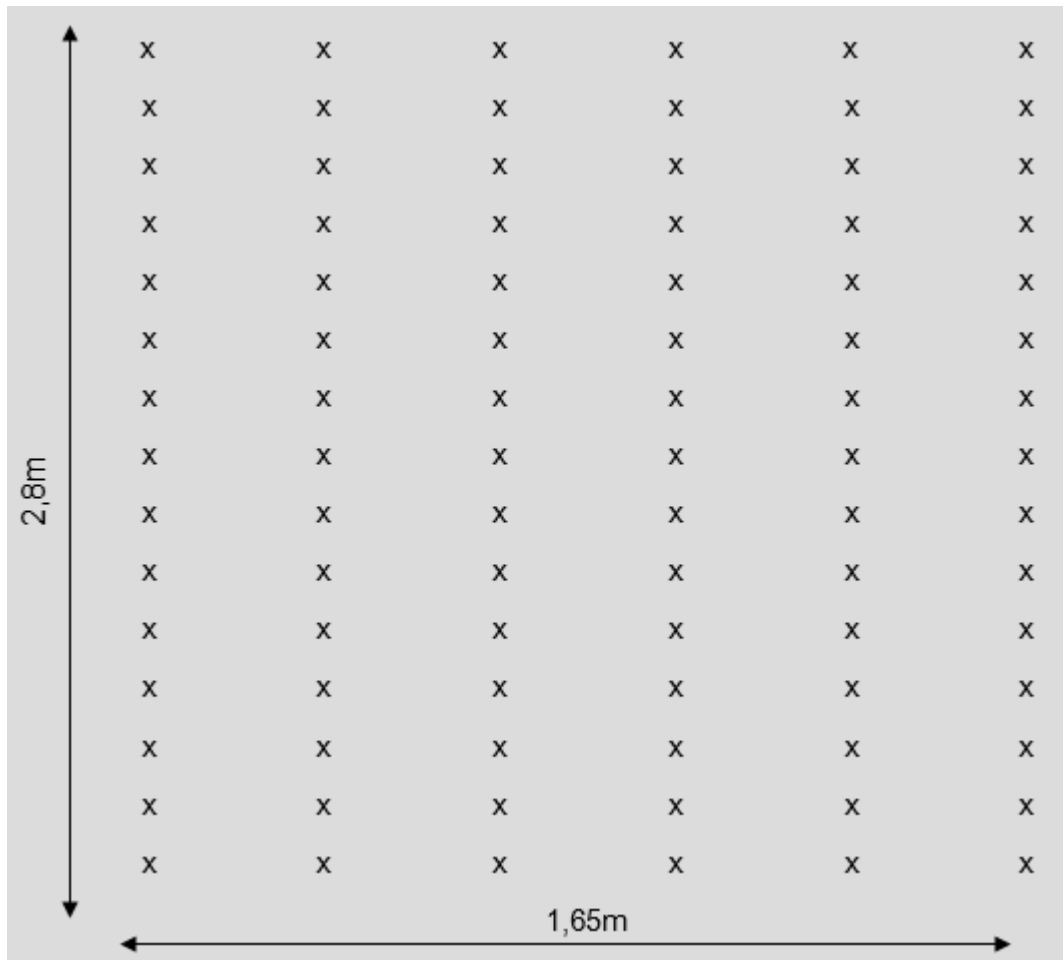


Abbildung 1: Schema einer Elitenanlage

Von den 13 EA wurden 3 EA für die genetischen Untersuchungen ausgewählt in der jeweils 96 Einzelpflanze markiert, nummeriert und Blattproben für die Markeranalysen genommen wurden (siehe Abbildung 2). Während der Vegetationsperiode wurden die phänotypischen Merkmale Blatt-, Blütenfarbe, Wuchstyp und Reife erfasst, die Einzelpflanzen einzeln geerntet und Ertragsparameter festgestellt. In dem Kapitel „Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse“ werden diese zusammengefasst.



Abbildung 2: Elitenanlage am Standort Bocksee 2017

Die Kombination von ertragreichen anthraknoseresistenten Sorten und Linien (AP 1.4) war ein weiterer wesentlicher Schwerpunkt in dem Projekt. Hierzu dienten als Grundlage die in Tabelle 2 aufgeführten Kreuzungseltern.

Tabelle 2: Übersicht der Kreuzungseltern zu AP 1.4

Mutter	Vater
Tanjil	M280
Bo 7212	M116
M280	M1424b
M116	M280
M1424b	Tanjil
M1181	Bo 7212

Für die Kreuzungen wurden die Linien ausgewählt, die sich bereits im Verbundprojekt PlantsProFood durch eine hohe Ertragsleistung auszeichneten. Die 4 Mutationslinien wurden mit den Resistenzträgern Tanjil und dem Stamm Bo 7212 diallel gekreuzt. Es entstanden 131 F₁ Samen die für die erste Rückkreuzung in Töpfe ausgelegt wurden. Nach den genetischen Analysen fand die erste Rückkreuzung statt, bei der 191 BC₁F₁ Samen erzeugt wurden. Anschließend wurden das BC₁F₁ Saatgut in Einzelreihen zur Vermehrung und erneuten Rückkreuzung gelegt. Die zweite Rückkreuzung erfolgte an 24 Einzelpflanzen, wobei an vielen EP der Hülsenansatz auf Grund der Wetter-situation ausblieb. Es konnten nur 5 Hülsen geerntet werden, die 2017 als BC₂F₁ vermehrt wurden. Die ertragreichsten heterozygoten Nachkommen aus der BC₁F₁ kamen 2017 in einer EA BC₁F₂ zur Aussaat. In der Abbildung 3 wird das Kreuzungsschema des AP 1.4 dargestellt.

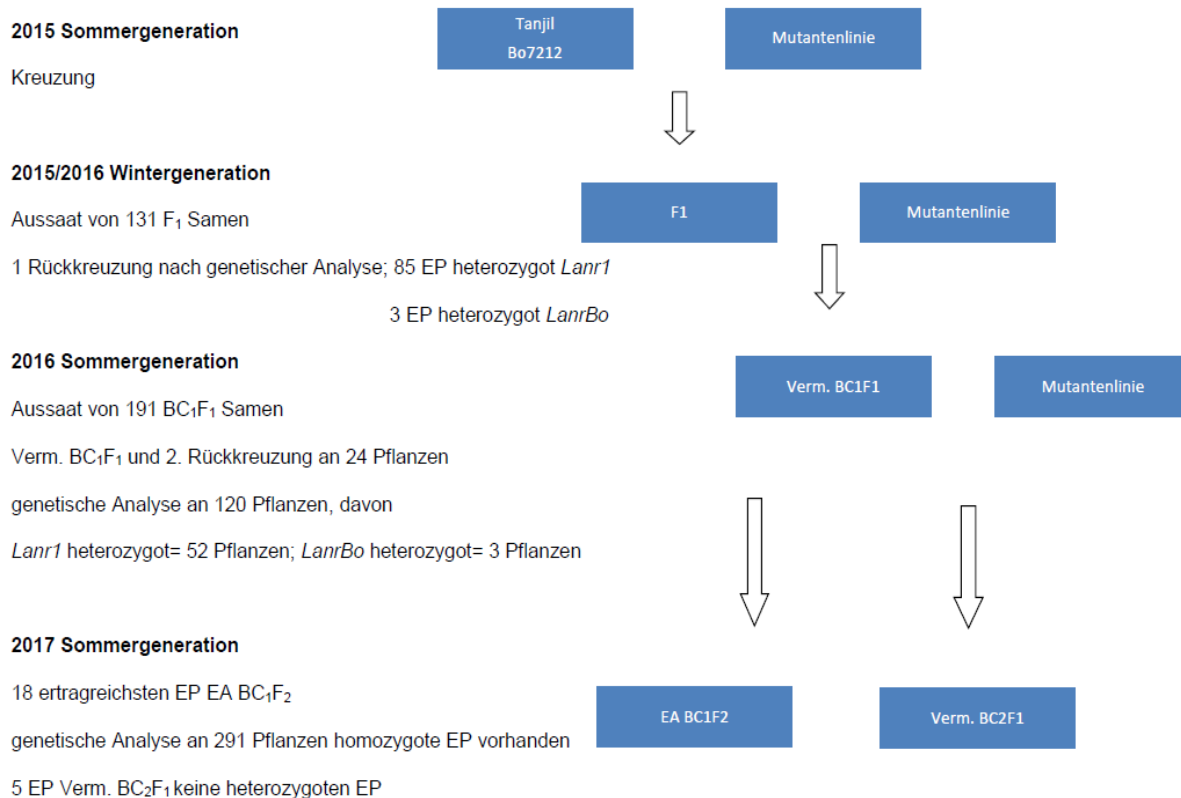


Abbildung 3: Kreuzungsschema

Aufgrund der gewonnenen Projektergebnisse des 1. und 2. Versuchsjahres wurde in der Wintergeneration 2016/2017 ein weiteres Kreuzungspaket mit Linien aufgelegt, die durch vorteilhafte Merkmalsausprägung auffielen. Hier handelt es sich um Mutantenlinien mit einem signifikant höheren Ertrag als der Donor Boruta, um eine Mutantenlinie mit einem hohen Rohproteingehalt, platzfeste Zuchtlinien der Saatzucht Steinach sowie ertragreiches Sortenmaterial australischer, polnischer und deutscher Herkunft. Diese positiven Eigenschaften wurden mit den Anthraknoseresistenzressourcen gekreuzt und 2017 geselbstet. Aus der Selbstung wurden 416 EP geerntet ausgewertet. Die ertragreichsten EP werden in das Züchtungsprogramm übernommen.

3.2. Markergestützte Kreuzung und Selektion von platzfesten Nachkommen

Grundlage für dieses Kreuzungspaket waren die platzfesten australischen Sorten Tanjil und Unicrop sowie die bereits unter 3.1 erwähnten Mutantenlinien, die stark platzfende litauische Sorte VB Antaniai sowie Sorten und Zuchtmaterial der Saatzucht Steinach. In der Sommergeneration 2015 wurden 157 F₁ Samen erzeugt, von denen 17 Samen an den Kooperationspartner JKI-ZL Groß Lüsewitz abgegeben wurden. Anschließend wurden alle anderen Samen aufbereitet und einzelkornweise für die erste Rückkreuzung für die Wintergeneration 2015/2016 ausgelegt.

Tabelle 3: Übersicht der Kreuzungseltern mit vorteilhaften Merkmalen (AP 1.4; Kreuzung Wintergeneration 2016/17)

Merkmal	Linie
Ertrag signifikant höher als Boruta	668(A4);2056(A15);565(A3);1182(B3);2091(B6) 2436(B11); 2345(B9);2342(B8);2090(B5)
RP Gehalt hoch	13-1142(B20)
Platzfestigkeit	Bo 133407(A28);Bo 133471(A25) Bo 123285(B24);Bo 123244(B26); Bo 133405(B31)
Anthraknoseresistenzträger	Tanjil (Lanr1); Bo 7212 (LanrBo)
Ertragreiche Sorten	Boregine; Mirabor; Probor; Wars; Barlock

Auf Grundlage der genetischen Untersuchungen fand die 1 Rückkreuzung, bei der 191 Samen erstellt wurden, statt. Die Vermehrung der erzeugten BC₁F₁ Linien erfolgte 2016 in Einzelreihen. Aus diesem großen Materialumfang wurden 115 Blattproben genetisch auf die Gene *lentus* und *tardus* untersucht. Die zweite Rückkreuzung in diesem AP wurde 2016 an 35 BC₁F₁ Pflanzen durchgeführt. Aus der BC₂ wurden 2017 18 Samen geselbstet, Blattmaterial für genetische Analysen genommen und geerntet. Das erzeugte BC₂F₂ Saatgut von Einzelpflanzen liegt für eine weitere züchterische Bearbeitung vor. Für den Anbau der BC₁F₂ im Jahr 2017 wurden nach Markeranalyse 14 heterozygote ertragreiche EP ausgewählt, einzelkornweise in Elitenanlagen zur Beobachtung und Selektion ausgelegt. Während der Vegetation wurden die Blattfarbe, Blütenfarbe, Wuchstyp und Reife festgehalten und 290 Blattproben zur Markeruntersuchung an das JKI-ZL gegeben. Im Kapitel 4.3 wird auf die Versuchsergebnisse von 2017 eingegangen.

Die Kreuzungen und genetischen Analysen erfolgten analog dem Schema unter Punkt 3.1.

3.3. Mikroprüfungen zur Platzfestigkeit

Das geprüfte Material bestand aus 44 Mutantenlinien, 20 Zuchtstämmen, dem platzenden Standard VB Antaniai und den platzfesten Standards Tanjil, Unicrop und Uniwhite. Ziel des Arbeitspaketes war es, platzfeste Mutantenlinien und Zuchtmaterial zu identifizieren.

Die Prüfung erfolgte dreijährig (2015-2017), zweiortig (Groß Lüsewitz, Bocksee) mit je 2 Wiederholungen und einer Aussaatstärke von 60 Korn je Reihe. Die Aussaat fand in einer zweireihigen Mikroprüfung (MP) im 5x5 Gitter statt. Das Versuchsdesign und die Boniturmerkmale wurden in Kooperation abgestimmt, der Boniturschlüssel vom

Projektpartner vorgegeben. Das zu prüfende Material wurde in Hinsicht auf die unterschiedliche Reife in 2 Reifegruppen eingeteilt.

Tabelle 4: Technische Daten der MP Platzfestigkeit am Standort Bocksee 2015-2017

	2015	2016	2017
Bodenpunkte	20	20	20
Datum Aussaat	13.04.	04.04.	08.04.
Herbizidbehandlung			
Datum	14.04.	05.04.	11.04.
Produkt	Gardo Gold	Gardo Gold	Gardo Gold
Aufwandmenge	2,5l/ha	2,8l/ha	2,8l/ha
Insektizidbehandlung			
Datum	18.06.	12.05.	24.05.
Produkt	Karate Zeon	Karate Zeon	Karate Zeon
Aufwandmenge	75ml/ha	75ml/ha	75ml/ha
Fungizidbehandlung			
Datum	15.07.	27.05.	16.06. u. 13.07.
Produkt	Folicur	Ortiva+ Folicur	Folicur; Ortiva + Folicur
Aufwandmenge	1l/ha	0,5l/ha+0,5l/ha	1l/ha 0,5l/ha+0,5l/ha
Beregnung			
Datum	29.05. 05.06. 12.06.	23.05. 10.06.	

Während der Prüfzyklen wurden die Merkmale Blühbeginn, Blühende, das Datum BBCH 87 und die Platzanfälligkeit bis zu 4 Wochen nach Totreife erfasst. Die Bonituren erfolgten anhand der Boniturskala von 1 - 9 statt, wobei die 1 für platzfest und die 9 für platzend steht.

3.4. Ertragsprüfungen Mutantenlinien

Die Versuche wurden im Rahmen dieses Projekts in drei aufeinander folgenden Jahren von 2015 bis 2017 dreierartig am JKI Groß Lüsewitz (konventionell und ökologisch)

und am Standort Bocksee durchgeführt Ein Sortiment von 44 Mutantenlinien und 3 Verrechnungssorten (Boruta, Probor und Boregine) wurden in zwei Reifegruppen in einer 5x5 Gitteranlage geprüft. Die Aussaat der Feldversuche erfolgte in 5 m² große Parzellen in zweifacher Wiederholung mit einer Aussaatstärke von 100 Korn je m². Zur genauen Charakterisierung des Materials sind während der Versuchsjahre folgende Merkmale erfasst worden: Blühbeginn, Blühende, Wuchshöhe, Bestandsdichte, Wuchstyp, Lager bei Reife, Gelbreife, Kornertrag, Proteinertrag, Tausendkorngewicht, Proteingehalt mittels NIR. Von den Merkmalen Blatt-, Blütenfarbe und Wuchstyp wurde außerdem die Homogenität bonitiert. Nach Zusammenstellung der Ergebnisse sind sie dem Projektpartner für die gemeinsame Verrechnung der Versuchsorte und Jahre übermittelt worden. Die zusammenfassenden Ergebnisse sind dem Schlussbericht des JKI-ZL Groß Lüsewitz zu entnehmen.

Für die Rohprotein- und Alkaloiduntersuchung am JKI-RS wurden jährlich 50 g Saatgut je PG und Wiederholung abgegeben.

Tabelle 5: Datum Aussaat und Ernte der LP am Standort Bocksee

	2015		2016		2017	
	LP früh	LP spät	LP früh	LP spät	LP früh	LP spät
Datum Aussaat	07.04.	07.04.	01.04.	01.04.	31.03.	31.03.
Datum Ernte	11.08.	18.08.	28.07.	05.08.	10.08.	10.08.

Die weiteren agrotechnischen Maßnahmen sind analog der Mikroprüfung Platzfestigkeit durchgeführt worden und damit der Tabelle 4 zu entnehmen.

3.5. Screening von Genbankakzessionen

Ziel des Arbeitspaketes war es, für die Züchtung relevante genetische Ressourcen zu evaluieren und zu vermehren.

Für dieses Arbeitspaket, das in enger Kooperation mit dem IPK Gatersleben realisiert wurde, sind im ersten Versuchsjahr Ressourcen nach verschiedenen Herkunftten und Status ausgewählt worden. Dies waren z.B. Akzessionen aus dem Wildpflanzenbereich, Landsorten, aber auch alte Zuchtsorten. Die Herkunftsländer und Gebiete sind geografisch weit gestreut. Sie kamen aus Nordamerika, Afrika, Australien, Europa und Vorderasien. Berücksichtigung fanden auch Akzessionen aus verschiedenen Höhenlagen. Im ersten Projektjahr wurden 100 und im zweiten Jahr 111 Akzessionen vom Projektpartner heißwasserbehandelt bereitgestellt. 2017 fand nach gemeinsamer Auswertung der vom IPK zusammengefassten Ergebnisse beider Versuchsjahre und

Orte ein Wiederholungsanbau interessanter Genbankakzessionen in Parzellen und Einzelreihen statt. Die Auswahl erfolgte nach folgenden Kriterien: Ertrag, Proteingehalt, Krankheitstoleranz, frühzeitige Reife, Trockenstress und Platzfestigkeit. Anhand dieser Merkmale wurden 41 Herkünfte ausgewählt und je 300 Korn mit der Einzelkornlegemaschine Hege 95 in 4,95 m² großen Parzellen einzelkornweise gelegt. 16 züchtungsrelevante EP aus dem Screening 2015 und 2016 wurden in Einzelreihen angebaut. Als Vergleichssorten dienten im letzten Versuchsjahr die Sorten Boregine, Probor, Boruta, Tanjil und VB Antaniai.

Tabelle 6: Agrotechnische Maßnahmen in der Vermehrung von Genbankakzessionen 2015-2017

	2015	2016	2017
Datum Aussaat	14.04.	31.03.	08.04.
Herbizidbehandlung			
Datum	16.04.	06.04	11.04.
Produkt	Stomp Aqua	Stomp Aqua	Stomp Aqua
Aufwandmenge	2,5l/ha	2,5l/ha	2,5l/ha
Insektizidbehandlung			
Datum	18.05.	11.05.	24.05.
Produkt	Karate Zeon	Karate Zeon	Karate Zeon
Aufwandmenge	75ml/ha	75ml/ha	75ml/ha
Fungizidbehandlung			
Datum	10.06.	27.05. und 16.06.	16.06.
Produkt	Ortiva+Folicur	Ortiva+Folicur	Folicur
Aufwandmenge	0,5l/ha+ 0,5l/ha	0,5l/ha+ 0,5l/ha	1l/ha
Beregnung			
Datum	02.06. 08.06. 03.07.	12.05. 09.06.	

Die ungleichmäßige Reife in den Jahren 2015 und 2016 erforderte eine Ernte per Hand, während 2017 die Parzellen mittels Mähdrusch geerntet werden konnten. Das Zeitfenster der Ernte erstreckte sich 2015 von Ende Juli bis Anfang September. 2016 wurden die ersten Pflanzen Mitte Juli, die letzten Pflanzen Ende August geerntet. Auf Grund der ausgewählten Akzessionen im Jahr 2017 war das Zeitfenster der Ernte verkürzt. Die ersten Akzessionen waren am 31.07. reif, die letzten wurden am 17.08. geerntet.

Während 2015 und 2016 der Vermehrungsbestand zum Teil stark durch pilzliche Erreger geschädigt wurde, traten im letzten Versuchsjahr fast keine Krankheiten auf. Nur zwei Akzessionen wurden als krank nach der Blüte beschrieben.

4. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

4.1. Kreuzung von Trägern der Resistenzgene *Lanr1* und *LanrBo* (AP 1.3; AP 1.6)

Das Arbeitspaket 1.3 verfolgt das Ziel, die beiden Anthraknoseresistenzgene *Lanr1* und *LanrBo* in einem Genotyp zu kombinieren. Für diesen Zweck wurden Kreuzungen der Resistenzträger (siehe Material und Methoden) in der Sommergeneration 2015 vorgenommen. Die F₁ Vermehrung erfolgte 2016. Das für die Resistenzträger *Lanr1* und *LanrBo* heterozygote F₂ Saatgut wurde 2017 in Elitenanlagen ausgesät, bonitiert, genetisch untersucht und auf Ertragskomponenten beurteilt.

Aus den Ergebnissen der genetischen Analysen 2017, die uns dankenswerterweise vom JKI-ZL zur Verfügung gestellt wurden, konnten 14 Einzelpflanzen (EP) mit einer Doppelresistenz selektiert werden. In Tabelle 7 ist die genetische Analyse des F₂ Saatgutes der Ernte 2017 dargelegt. Insgesamt wurden aus dieser Materialgruppe 288 Blattproben untersucht. Davon waren 66 Pflanzen homozygot für *Lanr1*, 61 Pflanzen homozygot für *LanrBo* und in 14 Pflanzen liegen beide Resistenzgene kombiniert vor. Alle weiteren Pflanzen waren entweder heterozygot oder es konnten aufgrund der DNA keine Aussagen getroffen werden.

Tabelle 7: Genetische Analyse der F₂ Generation

Feld Nr. 2017	Anzahl <i>Lanr1</i> homozygot	Anzahl <i>LanrBo</i> homozygot	Anzahl Kombinationen homozygot
17EA0601	29	10	1
17EA0606	17	21	6
17EA0612	20	30	7

In der Tabelle 8 sind die Ertragsparameter der 14 EP, in denen die Resistenz kombiniert vorliegt dargestellt.

Auffällig sind die großen Schwankungsbreiten in den dargestellten Merkmalen. Allein das Datum der Ernte umfasst einen Zeitraum von 29 Tagen. Im TKG gibt es eine Differenz von fast 100 g. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass aus der Kreuzung von Anthraknoseresistenzträgern 14 homozygote EP mit Doppelresistenz selektiert werden konnten und damit der Saatzucht für weitere züchterische Zwecke zur Verfügung stehen.

Tabelle 8: Ertragsparameter der relevanten Einzelpflanzen

Feld-Nr.	Eliten Nr.	Datum Ernte 2017	H	KZ	Gewicht [g]	KG/H	KZ/H	TKG [g]
17EA0601	21	04.09.	13	64	14,6	1,1	4,9	228
17EA0606	79	04.09.	8	25	5,4	0,7	3,1	216
17EA0606	43	04.09.	6	31	5,9	1,0	5,2	190
17EA0606	7	22.08.	9	36	7,6	0,8	4,0	211
17EA0606	51	07.08.	10	48	7,9	0,8	4,8	164
17EA0606	89	07.08.	22	98	12,7	0,6	4,5	130
17EA0606	24	28.08.	39	121	23,8	0,6	3,1	197
17EA0612	42	07.08.	9	41	7,3	0,8	4,6	178
17EA0612	68	16.08.	12	47	8,5	0,7	3,9	181
17EA0612	5	07.08.	12	52	7,3	0,6	4,3	140
17EA0612	76	24.08.	9	53	8,8	1,0	5,9	166
17EA0612	70	24.08.	15	67	11,7	0,8	4,5	175
17EA0612	93	04.09.	18	87	15,1	0,8	4,8	174
17EA0612	1	07.08.	21	94	14,6	0,7	4,5	155
Mittel			16	62	10,8	0,8	4,4	179
Min			6	25	5,4	0,6	3,1	130
Max			39	121	23,8	1,1	5,9	229

4.2. Kreuzung von ertragreichen Mutantenlinien mit Resistenzträgern von *Lanr1* sowie *LanrBo* (AP 1.4; AP 1.5)

In den Versuchsjahren von 2015-2017 wurden die Generationen BC₁F₂ und BC₂F₁ erstellt, von denen die wichtigsten Ergebnisse des Jahres 2017 im Folgenden aufgeführt werden.

Nach Auswertung der Ertragsparameter der BC₁F₁ aus dem Jahr 2016 wurden 18 agronomisch interessante EP für die Aussaat 2017 ausgewählt und in Elitenanlagen wie unter Material und Methoden beschrieben, ausgelegt.

Von 4 EP Anlagen wurden insgesamt 291 Pflanzen beprobt und am JKI-ZL auf die Resistenzgene *Lanr1* und *LanrBo* untersucht. In dieser Generation sollten homozygote EP, die beide Resistenzallele tragen, aufspalten. In Tabelle 9 sind die Zahlen für die Aufspaltungen dargestellt.

Tabelle 9: Genetische Analyseergebnisse der BC₁F₂

Resistenzen	Anz. Pfl. insgesamt	Anz. Pfl. homozygot Resistenz Allel	Anz. Pfl. heterozygot Resistenz Allel	Anteil Pfl. homozygot WT-Allel
<i>Lanr1</i>	192	49	92	51
<i>LanrBo</i>	99	27	49	23

Mittelwerte und Spannweiten der Ertragsdaten der homozygoten Einzelpflanzen sind in Tabelle 10 aufgeführt. In den Kreuzungsnachkommenschaften *Lanr1* liegen die Maximalwerte aller erfassten Merkmale deutlich über den Werten der Nachkommenschaften von *LanrBo*.

Die Resistenz *Lanr1* und *LanrBo* wurde in diesem Arbeitspaket markergestützt verfolgt und liegt nunmehr in BC₁F₃-Saatgut vor. Aus beiden Herkünften sollen nach Alkaloiduntersuchung die besten Einzelpflanzen für die weitere züchterische Bearbeitung in das Zuchtprogramm integriert werden.

In der Sommergeneration 2016 wurde eine zweite Rückkreuzung in der BC₁ durchgeführt. Aus dem Materialpool konnten nur 5 Linien in Einzelreihen zur Vermehrung der BC₂F₁ gelangen, von denen 15 Pflanzen beprobt wurden. Die zur Verfügung gestellten Untersuchungsergebnisse werden in Tabelle 11 gezeigt.

Tabelle 10: Mittelwerte und Spannweiten der erfassten Merkmale der homozygot vorliegenden Einzelpflanzen BC₁F₂

	HZ	KZ	Gewicht [g]	KG/H	KZ/H	TKG [g]
<i>Lanr1</i>						
Mittel	14	55	9,5	0,64	3,8	167
Min.	2	9	1,5	0,3	2,2	110
Max.	58	265	57,5	1,07	5,3	233
<i>LanrBo</i>						
Mittel	19	75	13,6	0,71	4,0	178
Min.	6	21	2,9	0,46	3,3	128
Max.	49	176	35	0,95	4,6	225

Tabelle 11: Genetische Untersuchungsergebnisse der BC₂F₁

Abstammung	Anz. Pfl. insgesamt	Anz. Pfl. heterozygot Resistenz Allel	Anz. Pfl. homozygot WT Allel
[(Tanjil*M1424b)*M1424b]*M1424b	12	7	5
[(Bo 7212*M1181)*M1181]*M1181	3	1	2

4.3. Markergestütztes Rückkreuzungsprogramm für *lentus* und *tardus* (AP 2.1)

Für die Kombination der bekannten Platzfestigkeitsgene sind in dem Berichtszeitraum die Generationen BC₁F₂ und BC₂F₁ erstellt worden.

Im Versuchsjahr 2017 sollten die Kombinationen selektiert werden, in denen die Gene *lentus* und *tardus* kombiniert homozygot für eine weitere Züchtung vorliegen. Zu diesem Zweck wurden nach Rücksprache mit dem JKI-ZL 290 Blattproben aus 5 Linien für die genetischen Analysen bereitgestellt. In der Tabelle 12 werden die Ergebnisse der Markeruntersuchung der BC₁F₂ dargestellt.

Tabelle 12: Genetische Analyse der BC₁F₂ 2017

Abstammung	Anz. untersuchter Pfl.	Anz. Pfl. Kombination <i>tardus</i> und <i>lentus</i>
(Tanjil*Boregine)*Boregine	32	11
(Tanjil*Boregine)*Boregine	96	16
(Tanjil*Bo 123292)*Bo 123292	48	7
(Unicrop*Boregine)*Boregine	46	8
(Unicrop*Sonate)*Sonate	68	Keine Spaltung

Aus den Untersuchungsergebnissen wird ersichtlich, dass das Ziel, Pflanzen mit einer Vereinigung von *lentus* und *tardus* zu erzeugen, gelungen ist. Die Auswertung der Ertragskomponenten der EP wird in Tabelle 13 abgebildet.

Besonders hervorgehoben werden soll die Abstammung (Unicrop*Boregine)*Boregine, da in ihr die ertragreichsten Pflanzen zu finden sind. Werden die Geschwisterlinien (Tanjil*Boregine)*Boregine miteinander verglichen fällt auf, dass die spät reifende Herkunft (23.08.) im Gegensatz zu der früh reifenden Herkunft (10.08.) in den Merkmalen Hülsenzahl, Kornzahl und Gewicht einen deutlichen Ertragszuwachs verzeichnet.

Tabelle 13: Mittelwerte und Spannweiten der Ertragskomponenten der homozygot vorliegenden Einzelpflanzen BC₁F₂ 2017

	Ernte- datum	HZ	KZ	Gewicht [g]	KG/H	KZ/H	TKG [g]
(Tanjil*Boregine)*Boregine							
Mittel	23.08.	23	84	17,7	0,76	3,6	211
Min.	08.08.	11	39	7,6	0,61	2,8	177
Max.	04.09.	45	160	32,3	0,95	4,0	252
(Tanjil*Boregine)*Boregine							
Mittel	10.08.	13	43	8,3	0,66	3,4	199
Min.	02.08.	8	24	5,3	0,50	2,5	157
Max.	15.08.	25	79	12,4	0,82	4,1	242
(Tanjil*Bo 123292)*Bo 123292							
Mittel	20.08.	25	101	15,6	0,61	4,1	150
Min.	15.08.	8	33	3,8	0,48	3,5	115
Max.	04.09.	32	144	23,4	0,75	4,6	207
(Unicrop*Boregine)*Boregine							
Mittel	17.08.	28	105	18,2	0,66	3,7	179
Min.	02.08.	6	20	3,8	0,50	3,0	155
Max.	04.09.	57	248	40,1	0,79	4,4	211

Zusätzlich wurden die BC₂ Samen geselbstet und genetisch durch das JKI Groß Lüsewitz analysiert. Aus diesem Rückkreuzungsprogramm liegen Pflanzen vor die in denen ebenfalls eine Kombination von *tardus* und *lentus* nachgewiesen werden konnte.

Tabelle 14: Genetische Analysen der BC₂F₁

Abstammung	Anz. Pfl. insgesamt	Anz. Pfl. <i>tardus</i>	Anz. Pfl. <i>lentus</i>
[(Tanjil*Bo 113311/14) *Bo 113311/14] *Bo 113311/14	27	18	27
[(Unicrop*Boregine) *Boregine] *Boregine	4	0	4
[(Unicrop*Bo 123292) *Bo 123292] *Bo 123292	16	1	16
[(Unicrop*Bo 1424b) *1424b] *1424b	4	1	4

Im Rahmen des Arbeitspaketes 2.1 wurde in die Mikroprüfung Platzfestigkeit Zuchtmaterial integriert. Von den Prüfgliedern wurde Saatgut für genetische Analysen am JKI-ZL übergeben. Die Charakterisierung des Zuchtmaterials wird detailliert im Schlussbericht des Kooperationspartners dargestellt.

4.4. Mikroprüfung ausgewählter Mutantenlinien im Merkmal Platzfestigkeit (AP 2.2)

In der Tabelle 15 werden die bonitierten Merkmale zusammenfassend für den Versuchsstandort Bocksee über die Versuchsjahre dargestellt.

Tabelle 15: Mittelwerte der Jahre 2015-2017 MP Platzfestigkeit am Standort Bocksee

	2015		2016		2017	
	früh	spät	früh	spät	früh	spät
Blühbeginn in Tagen n. 1.6	15	16	4	4	8	9
Blühende in Tagen n. 1.6	32	33	13	16	21	21
Reife in Tagen nach 1.7	35	38	22	24	32	35
Endbonitur Platzfestigkeit	3,1	3,2	3,5	2,7	2,8	2,0

Die Materialgruppe „frühe Reife“ zeigte in allen 3 Versuchsjahren eine stärkere Neigung zum Platzen als das spät reifende Material. 2017 wurde am Standort Bocksee die geringste Neigung zum Platzen festgestellt. Begründet ist dies durch die hohen Niederschläge und gleichzeitig geringen Temperaturen in der Reifephase im Vergleich zu den beiden anderen Jahren.

Temperaturverlauf in den Vegetationszeiten 2015-2017 Bocksee

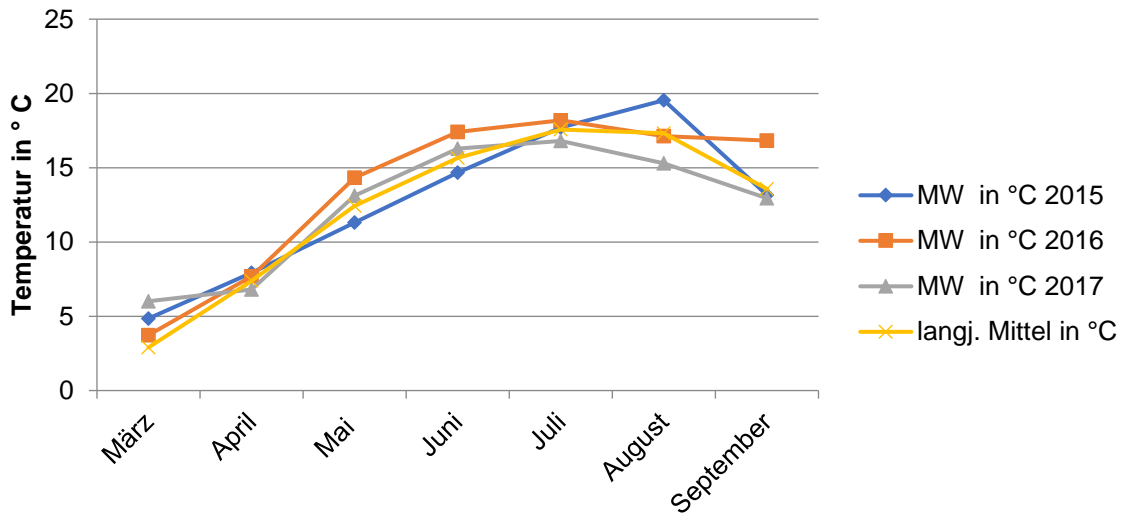


Abbildung 4: Temperaturen in den Vegetationszeiten 2015-2017

Das Jahr 2016 präsentiert in allen dargestellten Eigenschaften einen schnelleren Entwicklungsverlauf, der vor allem durch die überdurchschnittlichen Temperaturen in den Monaten Mai, Juni und Juli begründet liegt.

Niederschläge in den Vegetationszeiten 2015-2017 Bocksee

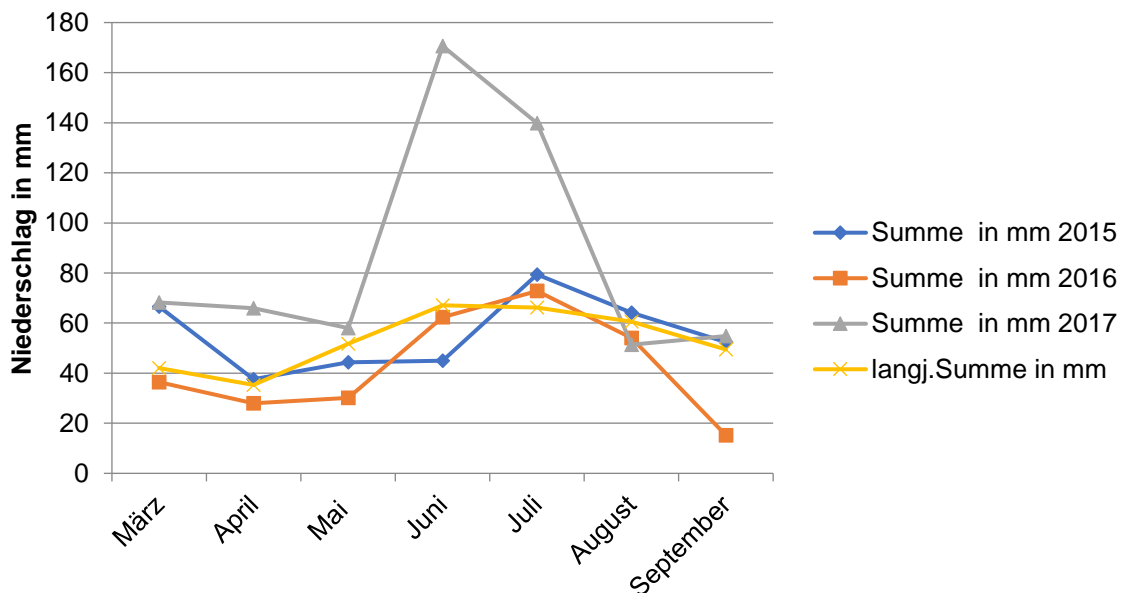


Abbildung 5: Niederschläge in den Vegetationsperioden 2015-2017

In den folgenden beiden Diagrammen sind die zusammengefassten Boniturergebnisse zur Platzfestigkeit über die Versuchsjahre dargestellt. Als wesentliches Ergebnis lässt sich aus den Feldversuchen ableiten, dass in beiden Versuchen PG vorhanden sind, die ein hohes Niveau an Platzfestigkeit aufweisen

MW MP Platzfestigkeit früh 2015-2017

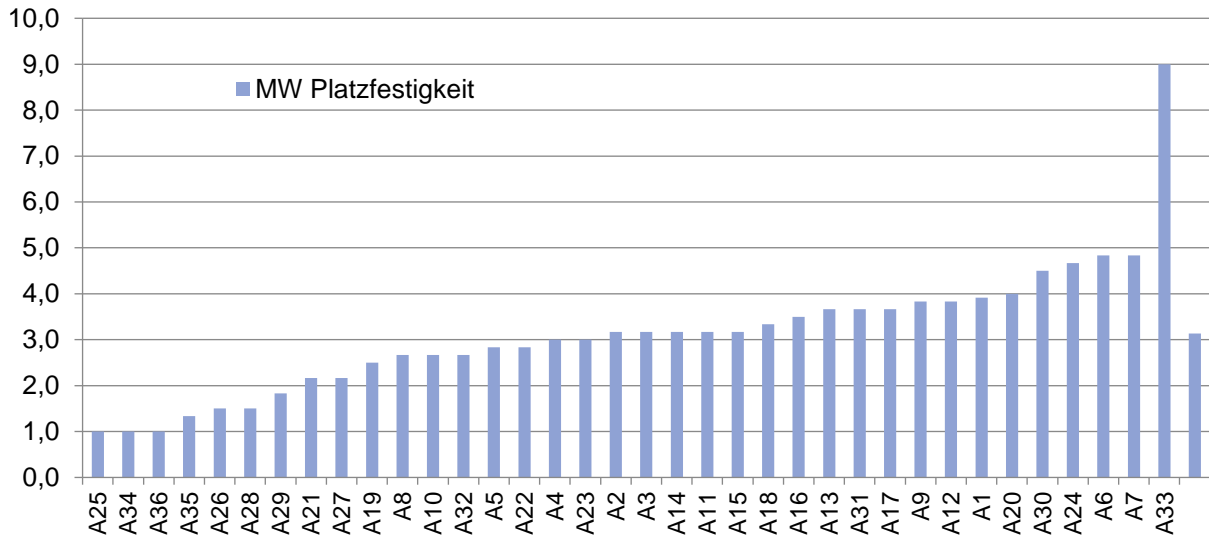


Abbildung 6: Mittelwerte MP Platzfestigkeit früh

MW MP Platzfestigkeit spät 2015-2017

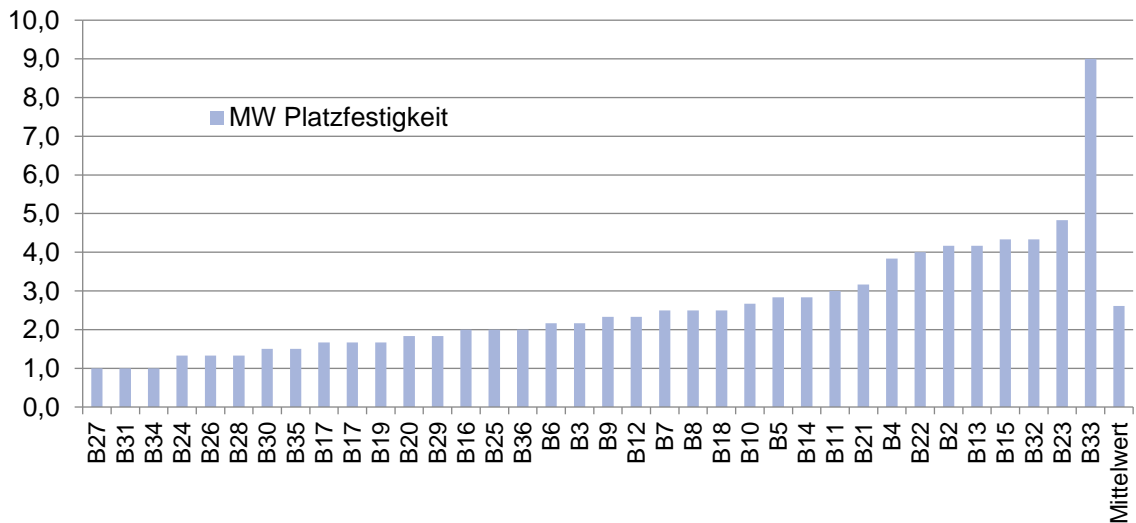


Abbildung 7: Mittelwerte MP Platzfestigkeit spät

Durch die jahrelangen züchterischen Aktivitäten und Selektion auf Platzfestigkeit ist es der Saatzucht gelungen, bereits Zuchtstämme mit einer geringen Neigung zum Platzen zu erstellen. Hervorzuheben ist hier die Sorte Haags Blaue mit einer geringen Anfälligkeit zum Platzen. In der Abbildung 8 wird eine Doppelreihenanlage aus der MP Platzfestigkeit am Standort Bocksee gezeigt.



Abbildung 8: Reihenanlage Platzfestigkeit

Die in diesem Arbeitspaket erhobenen Daten wurden dem Projektpartner JKI-ZL zur Verrechnung über Orte und Jahre übermittelt. Die eingehende Auswertung entnehmen Sie bitte dem Abschlussbericht des Projektpartners JKI-ZL Groß Lüsewitz.

4.5. Leistungsprüfung ausgewählter Mutantenlinien unter konventionellen Anbaubedingungen (AP.3.1)

Der Versuchsstandort Bocksee repräsentiert einen traditionellen Lupinenstandort mit einer entsprechenden bodenklimatischen Variation. Dementsprechend sind die Ertragsparameter auf dem sehr sandigen grundwasserfernen Standort in den Jahren sehr schwankend. In Tabelle 16 sind die Mittelwerte des Ertrages, des TKGs, des RP- und des Alkaloidgehaltes abgebildet. Deutlich zu erkennen ist der Witterungseinfluss in den Versuchsjahren und der damit verbundene Einfluss auf Ertrag und TKG. Selbst die zusätzlichen Berechnungen in den Versuchsjahren 2015 und 2016 brachten nicht den Ertrag des Jahres 2017. Das TKG schwankt im Mittel in den Versuchsjahren bis zu 30 g. Ebenfalls werden der Rohproteingehalt und der Alkaloidgehalt am Standort sehr stark durch die Witterung beeinflusst. Das kühle und nasse Wetter des letzten Versuchsjahres zeigt einen positiven Effekt auf den Ertrag und wirkt sich negativ auf den Alkaloidgehalt aus.

Tabelle 16: Mittelweltergebnisse der LP Mutantenlinien von 2015-2017

	2015		2016		2017	
	LP früh	LP spät	LP früh	LP spät	LP früh	LP spät
MW Ertrag in dt/ha	12,6	11,4	13,3	15,9	20,5	22
MW TGK in g	128	137	123	145	145	166
MW RP in % TM	32,3	35,9	28,4	30,7	28,5	32,4
MW Alkaloidgehalt in %	0,02	0,034	0,018	0,029	0,023	0,042

Zwischen den Jahren gibt es zum Teil deutliche Unterschiede im Ranking der getesteten Linien und Sorten. Als besonders ertragsstabil über die 3 Versuchsjahre fiel am Standort Bocksee in der frühen Reifegruppe die Linie A4, und in der späten Reifegruppe die Linie B3 auf. Beide Prüfglieder haben unter den 3jährig geprüften Linien mit 18,4 dt/ha bzw. mit 22,3 dt/ha den höchsten Ertrag und liegen damit über der ertragsstarken Sorte Boregine. Die Abbildung 9 gibt einen Überblick über die Mittelwerte Ertrag und Rohproteingehalt der LP früh am Standort Bocksee.

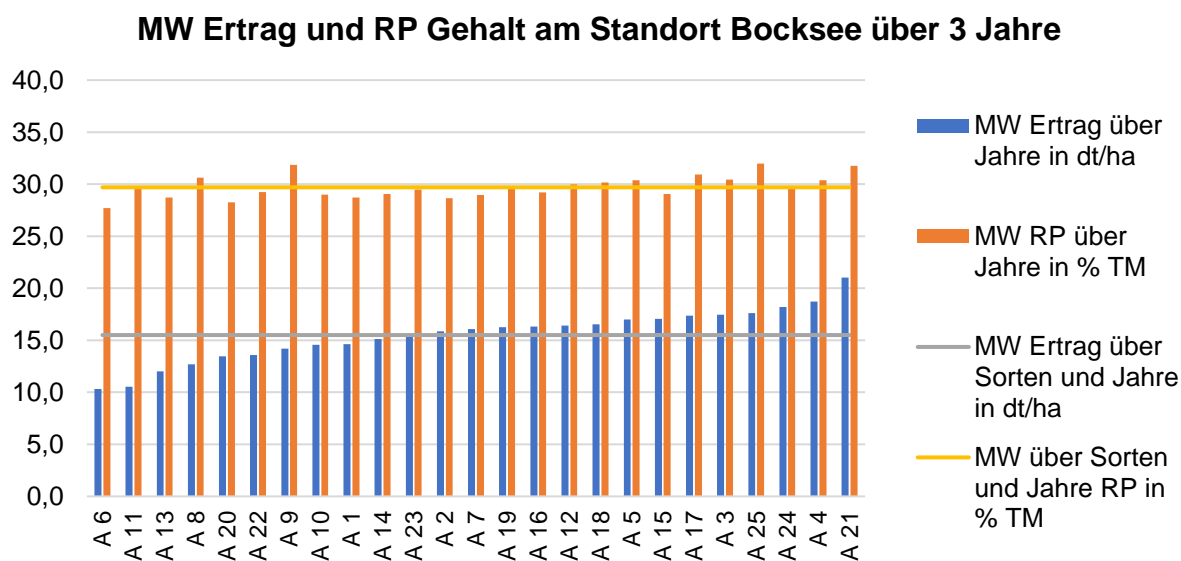


Abbildung 9: MW Ertrag und RP Gehalt, frühe Reifegruppe

Das PG A21 wurde nur 2jährig geprüft. Die Linie A4 überzeugt sowohl durch einen hohen Ertrag, als auch durch einen überdurchschnittlichen Rohproteingehalt. Beide Merkmale liegen nur knapp unter dem Standard Probor.

Aus der Abbildung 10, die den Ertrag und RP-Gehalt der späten Gruppe widerspiegelt, stellen sich im Ertrag deutlich die PG B3, B5, B9 und B6 heraus, wobei die Linien B3 und B5 zusätzlich im RP-Gehalt überzeugen. Mit gut 4 dt/ha liegt die Linie B3 über

dem Durchschnitt der Verrechnungssorten und belegt damit in der späten Gruppe Platz 1.

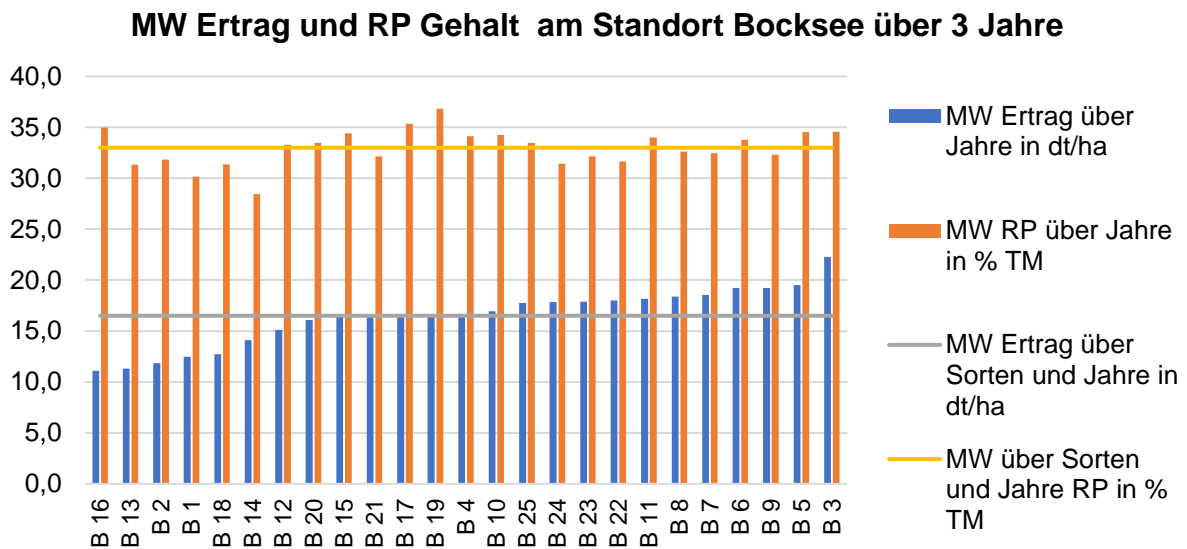


Abbildung 10: MW Ertrag und RP Gehalt, späte Reifegruppe

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass am Standort Bocksee Mutantensorten selektiert werden konnten, die im Ertrag und Rohproteingehalt über den leistungsfähigen Standardsorten liegen und für die Sortenzüchtung nutzbar sind.

4.6. Screening und Vermehrung von Genbankakzessionen (AP 6.1 und AP 6.3)

Während 2015 und 2016 der Vermehrungsbestand zum Teil stark durch pilzliche Erreger geschädigt wurde, traten im letzten Versuchsjahr fast keine Krankheiten auf. Nur zwei Akzessionen wurden als krank nach der Blüte beschrieben.

Neben den bonitierten Merkmalen wurden der Ertrag, der Rohproteingehalt und das TKG in der Saatzeit bestimmt. Den höchsten Ertrag mit 2,57 kg erreichte die Akzessionsnummer 1100. Den geringsten Ertrag mit 0,42 kg brachte die Akzession 5291, die auch als platzend beschrieben wird. Weiterhin ist aus der Abbildung 11 zu erkennen, dass die Sorte Boregine mit 1,66 kg nur einen mittleren Ertrag erzielen konnte. Da hier nur ein Datensatz als Grundlage dient und keine Wiederholungen eingeflossen sind kann nur von einem Trend gesprochen werden.

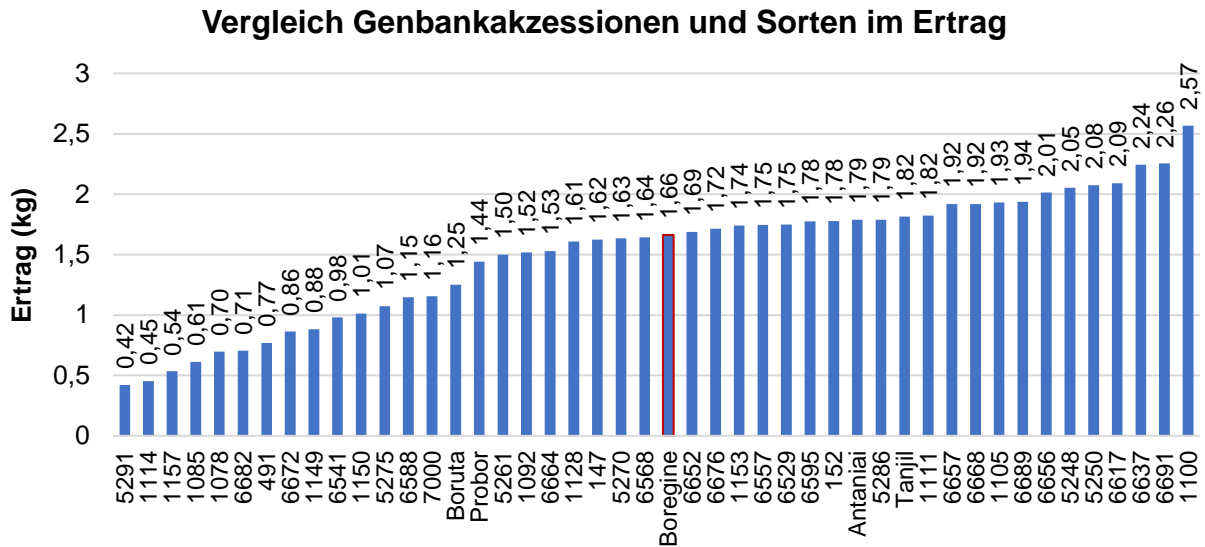


Abbildung 11: Parzellenertrag der Genbankakzessionen 2017 in Bocksee

Ein wichtiges Zuchtziel in der Züchtung der Blauen Lupine ist die Verbesserung des Proteingehaltes. Auf Grund dessen wird nach Kreuzungspartnern gesucht, welche einen hohen Rohproteingehalt aufweisen. Der Eiweißgehalt im Genbankmaterial lag zwischen 28,8 und 38,9 % und wurde mittels NIR in der Saatzucht Steinach gemessen. Hier wird ersichtlich, dass im Genbankmaterial Reserven zur Züchtung auf hohen RP Gehalt vorhanden sind. Die Sorte Probor wurde vom BSA im Eiweißgehalt mit der Note 8 bewertet und dient in offiziellen Versuchen als Standardsorte. Im Vergleich zu dieser Sorte haben die besten Genbankakzessionen einen um über 6 % höheren Proteingehalt.

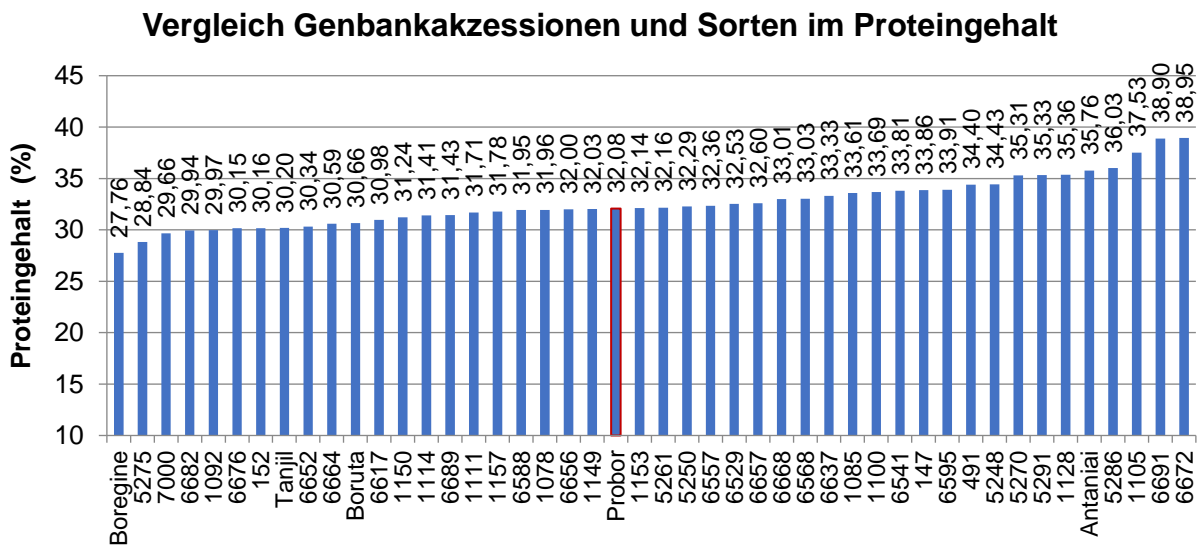


Abbildung 12: Rohproteingehalte der Genbankakzessionen 2017 in Bocksee

Die Akzessionen 1105, 5248 und 6691 zeichneten sich durch einen hohen Ertrag und Rohproteingehalt aus.

Aus den Einzelreihen ist nur die Akzession 148 zu erwähnen, da diese in beiden Merkmalen die Standardsorten übertrifft.

Zur Nutzung der Akzessionen in den Züchtungsprozess wurde in der Wintergeneration 2016/2017 ein Kreuzungsexperiment aufgelegt. Die Vermehrung der F₁ Generation erfolgte 2017. Ein weiteres Kreuzungspaket mit Genbankakzessionen und Sorten der Saatzucht Steinach wird zurzeit bearbeitet.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass aus dem umfangreichen Sortiment an Genbankakzessionen züchtungsrelevante Herkünfte erschlossen werden konnten, die bereits in den Züchtungsprozess eingeflossen sind.

Die zusammengefassten Ergebnisse dieses Arbeitspakets werden im Schlussbericht des IPK dargestellt und sind diesem zu entnehmen.

5. Diskussion der Ergebnisse

Die Kreuzungen hinsichtlich der Merkmale Anthraknoseresistenz und Platzfestigkeit, sowie der Merkmalskombination Anthraknoseresistenz x Ertrag wurden in den drei Versuchsjahren verfolgt. Durch Nutzung der Wintergeneration im Gewächshaus ist es gelungen einen zweiten Rückkreuzungsschritt durchzuführen. Da der Materialumfang in allen Kreuzungspaketen sehr groß wurde, konnte die Blattprobenahme und die genetische Analyse für die drei Arbeitspakete nur eingeschränkt durchgeführt werden. Bei der Auswahl der Blattproben für die Untersuchungen wurde darauf geachtet, dass unterschiedliche Abstammungen, aber auch Herkünfte mit der besten Ausprägung in den Ertragskomponenten Berücksichtigung finden.

Die Versuche zur Platzfestigkeit wurden in Mikroprüfungspartellen angelegt und bis zu vier Wochen nach Tотреife bonitiert. Die zum Projektbeginn unternommene Einteilung in zwei Reifegruppen hat sich für die Beurteilung der Platzfestigkeit als richtig erwiesen. Die nichtplatzfeste Sorte VB Antaniai platzte sofort nach Reife auf. Tanjil dagegen zeigte sich über den gesamten Zeitraum der Bonitur als platzfest. In der geprüften Materialgruppe (Mutantenlinien, Zuchtmaterial) trat eine breite Variabilität auf. Aus den dreijährigen Mittelwerten am Standort Bocksee stellten sich Zuchtstämme mit einer sehr geringen, aber auch Zuchtstämme mit einer hohen Platzanfälligkeit heraus. Die Auslese auf Platzfestigkeit unter natürlichen Bedingungen ist in Gebieten mit heißen und trockenen Sommern möglich. Niederschlagsreiches und kühles Wetter zur Reife verursacht eine Vermorschung der Hülsen, wodurch die Hülsenspannung nachlässt und es nicht oder nur bedingt zum Platzen der Hülsen kommt. Im Jahr 2015 traten zum Zeitpunkt des Hülsenplatzens sehr hohe Temperaturen auf, die das Hülsenplatzen förderten. Im Jahr 2016 war der August bis lange in den September hinein sehr warm und niederschlagsarm. Dies führte zum verstärkten Platzen und war unter

natürlichen Bedingungen gut zu beobachten. Dagegen zeigte sich das gesamte Jahr 2017 kühl und nass. Die Temperatur lag deutlich unter dem langjährigen Mittel, wohingegen die Niederschlagsmenge deutlich darüber lag. Das Hülsenplatzen war aus diesen Gründen schwächer ausgeprägt als in den Jahren zuvor.

Die Leistungsprüfungen haben gezeigt, dass in den Mutantenlinien Variationen in den festgestellten Merkmalen vorhanden sind. Hervorzuheben ist der Ertrag, der RP-Gehalt, der Alkaloidgehalt und die Reife. Das Ertragsniveau unter den Gegebenheiten des Züchterstandortes ist stark durch äußere Einflüsse gekennzeichnet. 2015 traten gehäuft Pilzkrankheiten auf. Obwohl in den ersten beiden Projektjahren aufgrund der Trockenheit zusätzlich beregnet wurde, konnte der Ertrag des letzten Versuchsjahres nicht erreicht werden. Im Bericht wurden Linien benannt, die am Standort Bocksee durch eine Kombination von hohem Ertrag, hohem RP-Gehalt und niedrigem Alkaloidgehalt auffielen und zusätzlich eine mittlere Platzfestigkeit aufweisen.

Die Inhomogenität der untersuchten Genbankakzessionen in den Versuchsjahren 2015 und 2016 führte zu aufwendigen Merkmalsfeststellungen bis hin zur Handernte der gesamten Einzelpflanzen. Durch das frühe Auftreten verschiedener pilzlicher Erreger reduzierte sich der Bestand in den beiden Jahren stark. Aufgrund dieser Situation, aber auch anderer Einflüsse wie z.B. Hasenfraß oder Hülsenplatzen vor der Reife waren die Vermehrungsraten niedrig. Die Ernte erstreckte sich in beiden Jahren über ein Zeitfenster von 60 Tagen. In beiden Versuchsjahren wurden zusätzlich gesunde, ertragreiche EP markiert, die 2017 zur Beobachtung in Einzelreihen zum Anbau kamen. Aus diesem Pool an genetischen Ressourcen wurden unter Verwendung verschiedener Merkmale (Ertrag, Gesundheit, Platzfestigkeit, hoher RP-Gehalt, Trockentoleranz) Akzessionen für den Anbau 2017 ausgewählt. Aus dieser Vermehrung konnten züchtungstaugliche Akzessionen identifiziert werden. Es besteht allerdings die Notwendigkeit, die Züchtungseignung durch wiederholte Prüfungsergebnisse zu bestätigen.

6. Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die in diesem Projekt erlangten Erkenntnisse tragen dazu bei, den Zuchtfortschritt bei der Blaue Süßlupine zu beschleunigen. Das erstellte Zuchtmaterial mit den vorhandenen positiven Eigenschaften wird in den Züchtungsprozess der Saatzucht Steinach integriert und dient als Ausgangsbasis für Anthraknoseresistenz und Platzfestigkeit. Aufbauend auf den mehrjährigen und mehrortigen Ergebnissen des Projektes kann das geprüfte Material als Basis für die weitere Züchtung auf Ertrag und Ertragssicherheit eingesetzt werden. Weiterhin tragen die erzielten Ergebnisse hinsichtlich der Inhaltsstoffe dazu bei, die Möglichkeiten des Einsatzes in der Futtermittel- als auch in der Nahrungsmittelherstellung auszuschöpfen.

Die im Vorhaben implementierte markergestützte Selektion auf Anthraknoseresistenz und Platzfestigkeit hat sich besonders aufgrund der simultanen Selektion von jeweils

zwei Genen (Allelen) als äußerst erfolgreich herausgestellt. Sie wird deshalb zukünftig im Zuchtprogramm auf effiziente Weise eingesetzt werden.

Die im Projekt erhobenen Merkmalsdaten aus dem Screening der Genbankakzessionen wurden bereits in die laufende Züchtungsarbeit einbezogen und sollen die Leistungsfähigkeit der Sorten verbessern. Durch das Einpflegen in die GBIS-Datenbank des IPK ist auch eine Nutzung der Daten für die Öffentlichkeit gegeben.

7. Gegenüberstellung der geplanten zu den erreichten Zielen

Ziel	Ergebnis
Selektion von anthraknoseresistenten Linien mit 2 Resistenzgenen	14 Linien mit Doppelresistenz selektiert
Selektion von Mutantenlinien mit Anthraknoseresistenz	49 EP mit Resistenzträger <i>Lanr1</i> vorhanden; 27 EP mit Resistenzträger <i>LanrBo</i> vorhanden
Einlagerung von Platzfestigkeitsgenen in das Zuchtmaterial	42 Kombination von <i>tardus</i> und <i>lentus</i> liegen in EP vor
Identifikation von Linien mit erhöhter Platzfestigkeit	dem Schlussbericht des JKI zu entnehmen
Ermittlung leistungsfähiger Mutantenlinien	am Standort Bocksee die Mutantenlinien A4, A3, B3, B5, B9, B6
Identifikation züchtungsrelevanter genetischer Ressourcen	Für die Züchtung relevante genetische Ressourcen ermittelt

8. Zusammenfassung

Im Mittelpunkt des Projektes stand die Verbesserung der Leistungsstabilität der Blauen Lupine durch Züchtung auf Anthraknoseresistenz, Platzfestigkeit und Ertrag. Im ersten Teil stand die Erzeugung von Zuchtmaterial mit neuen wertbestimmenden Eigenschaften unter Zuhilfenahme molekulargenetischer Werkzeuge im Vordergrund. Die vom JKI-ZL durchgeführten Untersuchungen gaben Aufschluss über die Spaltungsverhältnisse und ermöglichten dem Saatzuchtunternehmen die Selektion auf züchtungsrelevante Nachkommen mit positiver Merkmalsausprägung. Im zweiten Teil des Projektes ging es um die Prüfung von Mutantenlinien und Zuchtmaterial auf Platzfestigkeit. Aus den hierzu durchgeführten Versuchen kristallisierten sich Genotypen mit hoher Platzfestigkeit, als auch Genotypen mit Neigung zum Platzen heraus. In einem weiteren Teilprojekt wurden Leistungsprüfungen an Mutantenlinien in verschiedenen Umwelten vorgenommen. Die klimatischen Bedingungen in den 3 Prüfjahren differierten stark. Trotzdem stellten sich am Züchterstandort Linien heraus, welche die Verrechnungssorten in allen 3 Jahren im Ertrag sowie im Rohproteintrag übertrafen. Dies ist besonders hervorzuheben, da es sich hierbei um einen für den Lupinenanbau typischen Standort (leichter Boden, grundwasserfern) handelt. Im

Bereich der genetischen Ressourcen wurden in Kooperation mit dem IPK und dem JKI-RS Akzessionen gesichtet, die für die Züchtung nutzbar sind. Kleine Kreuzungsprogramme sind in den Wintergenerationen 2016/17 und 2017/18 angelegt worden.

9. Literaturverzeichnis

- Berger J.D., Clements J.C., Nelson M.N., Kamphuis L.G., Singh K.B., Buirchell B. (2013) The essential role of genetic resources in narrow-leafed lupin improvement. *Crop & Pasture Science* 64:361-373
- Boersma J.G., Nelson M., Sivasithamparam K., Yang H. (2009) Development of sequence-specific PCR markers linked to the *Tardus* gene that reduces pod shattering in narrow-leafed lupin (*Lupinus angustifolius* L.). *Molecular Breeding* 23:259-267
- Cowling W.A., Buirchell B.J., Falk D.E. (2009) A model for incorporating novel alleles from the primary gene pool into elite crop breeding programs while reselecting major genes for domestication or adaptation. *Crop & Pasture Science* 60:1009-1015
- Fischer K., Dieterich R., Nelson M.N., Kamphuis L.G., Singh K.B., Rotter B., Krezdorn N., Winter P., Wehling P., Ruge-Wehling B. (2015) Characterization and mapping of *LanrBo*: a locus conferring anthracnose resistance in narrow-leafed lupin (*Lupinus angustifolius* L.). *Theor. Appl. Genet.* 128:2121-2130
- Li X., Renshaw D., Yang H., Yan G. (2010) Development of co-dominant DNA marker tightly linked to gene *tardus* conferring reduced pod shattering in narrow-leafed lupin (*Lupinus angustifolius* L.). *Euphytica* 176:49-58
- Yang H., Boersma J.G., You M., Buirchell B.J., Sweetingham M.W. (2004) Development and implementation of a sequence-specific PCR marker linked to a gene conferring resistance to anthracnose disease in narrow-leafed lupin (*Lupinus angustifolius* L.). *Molecular Breeding* 14:145–151

10. Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse

Zu dem Feldtagen in der Saatzucht Steinach 2016 und 2017 wurden die Parzellenversuche vorgestellt.

Die Ergebnisse wurden auf der Jahrestagung der Gesellschaft zur Förderung der Lupine 2018 präsentiert.