



Abschlussbericht

Zuwendungsempfänger:

Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und
Kulturpflanzenforschung (IPK), Corrensstraße 3, 06466
Seeland, OT Gatersleben

Geschäftskennzeichen:

312-06.01-14EPS010

Förderkennzeichen:

2814EPS010

Vorhabenbezeichnung:

Erhöhung der Ertragsstabilität und Ertragsleistung der Süßlupine zur Sicherung der einheimischen
Eiweißversorgung (LupiBreed) (Teilprojekt IPK – Genetische Ressourcen)

Projektleitung: Dr. U. Lohwasser

Laufzeit des Vorhabens:

15.02.2015 – 14.02.2018

Beteiligte Kooperationspartner:

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
Institut für Züchtungsforschung an landwirtschaftlichen Kulturen
Dr. Brigitte Ruge-Wehling
Erwin-Baur-Str. 27
06484 Quedlinburg

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
Institut für Resistenzforschung und Stresstoleranz
Gisela Jansen
Erwin-Baur-Str. 27
06484 Quedlinburg

Saatzucht Steinach GmbH & Co. KG
Regine Dieterich
Klockower Straße 11
17219 Bocksee

Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei
Institut für Ökologischen Landbau
Dr. Herwart Böhm
Trenthorst 32
23847 Westerau

Erhöhung der Ertragsstabilität und Ertragsleistung der Süßlupine zur Sicherung der einheimischen Eiweißversorgung (LupiBreed) (Teilprojekt IPK – Genetische Ressourcen)

Ulrike Lohwasser

Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK), Corrensstraße 3, 06466 Seeland, OT Gatersleben, Germany, E-Mail: lohwasse@ipk-gatersleben.de

Kurzfassung

Im LupiBreed Projektteil Genetische Ressourcen wurden insgesamt 227 Akzessionen von blauer Lupine (*Lupinus angustifolius* L.) der bundesdeutschen Ex situ-Genbank in Gatersleben angebaut. Der Anbau erfolgte in einem Folientunnel, um speziell Trockenstress unter kontrollierten Bedingungen testen zu können. Außerdem wurden 225 Akzessionen der Blauen Lupine zur Vermehrung in Kleingewächshäusern angebaut, um ausreichend Material für die Züchtung und andere interessierte Nutzer zur Verfügung zu haben.

Die Genbankakzessionen wurden nach einem mit den Projektpartnern abgestimmten Boniturschema beschrieben. Insgesamt wurden 42 agronomische und morphologische Merkmale erfasst. Besonderes Augenmerk wurde auf die Merkmale Krankheitsresistenz, Frühzeitigkeit, Ertrag, Tausendkornmasse, Platzfestigkeit und Anpassung an Trockenstress gelegt. Im dritten Projektjahr wurden dann 56 ausgewählte Akzessionen als Wiederholung angebaut, um die Ergebnisse der ersten beiden Jahre zu bestätigen. Für die Merkmale Krankheitsresistenz, Ertrag, TKM, Platzfestigkeit und Trockenstress konnten Genbankakzessionen gefunden werden, die genauso gut oder sogar besser als auf dem Markt befindliche Sorten waren. Nur bei dem Merkmal Frühzeitigkeit waren die Sorten generell besser als das Genbankmaterial. Zusätzlich wurden Alkaloid- und Proteingehalte, die im Julius Kühn-Institut untersucht wurden, in den Vergleich mit einbezogen. Die Akzessionen mit besonders positiven Eigenschaften wurden parallel unter Freilandbedingungen in Bocksee bei Saatzucht Steinach (SZS) getestet. Bereits erste Kreuzungen von Zuchtmaterial der SZS mit Genbankmaterial wurden vorgenommen. Wenn sich diese als positiv erweisen, können neue Sorten von Blauer Lupine zur Zulassung kommen. Die Genbankakzessionen haben somit einen Beitrag in der Entwicklung neuer, ertragreicher und gesunder Sorten geleistet.

**Improving Yield Potential, Yield Stability and Seed Quality of Lupins as Protein Plants (LupiBreed)
(Project Part IPK – Genetic Resources)**

Ulrike Lohwasser

Leibniz Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (IPK), Corrensstrasse 3, 06466 Seeland, OT Gatersleben, Germany, email: lohwasse@ipk-gatersleben.de

Summary

Within the LupiBreed project part genetic resources, in total, 227 accessions of blue lupin (*Lupinus angustifolius* L.) from the German federal ex situ genebank in Gatersleben were cultivated. The material was grown in a foil tunnel in order to test drought stress under controlled conditions. In addition, 225 accessions of blue lupin were regenerated in small greenhouses. This regeneration was necessary to have enough material for further breeding purposes and other interested users.

The genebank accessions were described with a descriptor that was agreed between the project partners. In total, 42 agronomic and morphological characters were recorded. Special attention was turned on the characters disease resistance, earliness (early flowering, early ripening) yield, thousand-grain weight, pod shattering, and drought stress adaptation. In the third project year, 56 selected accessions were cultivated again in order to confirm the results of the first two years. For the characters disease resistance, yield, thousand-grain weight, pod shattering, and drought stress, genebank accessions could be found which have good or even better behavior than the advanced cultivars. Only for the character earliness, no genebank material with good behavior could be identified. In addition, alkaloid and protein content (detected by the Julius Kuehn Institute) were used for comparison. The accessions with positive characters were also cultivated in Bocksee on the fields of Saatzucht Steinach (SZS). Already first crossings of breeding lines from SZS with genebank material were made. If these new lines still show the positive characters, new cultivars of blue lupin can be released. The genebank accessions can contribute in the development of new high yielding and healthy cultivars.

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	6
Gegenstand des Vorhabens.....	6
Ziele und Aufgabenstellung des Projekts, Bezug des Vorhabens zu förderpolitischen Zielen (EPS oder andere Bekanntmachungen)	6
Planung und Ablauf des Projektes.....	7
2. Wissenschaftlicher und technischer Stand	8
Erhöhung der genetischen Variabilität.....	8
Anthraknoseresistenz.....	9
Platzfestigkeit	9
Korninhaltsstoffanalyse	9
3. Material und Methoden	10
Pflanzenmaterial	10
Anbau des Materials.....	11
Bonituren.....	12
Vermehrung des Genbankmaterials	12
Abgabe von Saatgut an die Partner.....	12
4. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse	13
Bonituren.....	13
Krankheitsresistenz	13
Frühzeitigkeit (Frühblütigkeit / Frühreife).....	14
Platzfestigkeit	15
Ertrag / TKM	16
Trockenstressresistenz	19
Gesamtergebnis	21
Vermehrung des Genbankmaterials	24
5. Diskussion der Ergebnisse	24
6. Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse	25
7. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen	25
8. Zusammenfassung	25
9. Literaturverzeichnis	26
10. Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt, bisherige und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse	28
11. Anhang	29

Abkürzungsverzeichnis

GBIS	Genbankinformationssystem
GFPI	Gemeinschaft zur Förderung der Pflanzeninnovation e.V.
IPK	Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung
JKI	Julius Kühn-Institut
NIRS	Nahinfrarotspektroskopie
SMTA	Standardmaterialtransfervereinbarung
SZS	Saatzucht Steinach
TKM	Tausendkornmasse

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Anbau des Pflanzenmaterials im Folientunnel
- Abb. 2: Vermehrung von Lupinenakzessionen im Kleingewächshaus
- Abb. 3: Vergleich des Krankheitsbefalls der Jahre 2015 und 2017
- Abb. 4: Vergleich des Krankheitsbefalls der Jahre 2016 und 2017
- Abb. 5: Vergleich der Frühblütigkeit der Jahre 2015 und 2017
- Abb. 6: Vergleich der Frühblütigkeit der Jahre 2016 und 2017
- Abb. 7: Vergleich der Platzfestigkeit der Jahre 2015 und 2017
- Abb. 8: Vergleich der Platzfestigkeit der Jahre 2016 und 2017
- Abb. 9: Vergleich der TKM der Jahre 2015 und 2017
- Abb. 10: Vergleich der TKM der Jahre 2016 und 2017
- Abb. 11: Doppelhülse bei LUP 5217
- Abb. 12: Vergleich der Tausendkornmasse (TKG) zwischen Saatzeit Steinach und IPK
- Abb. 13: Korrelation zwischen Erntebeginn und Ertrag
- Abb. 14: Korrelation zwischen TKM und Ertrag
- Abb. 15: TKM-Vergleich zwischen den Anbaublöcken in 2016 (BI = Kontrolle, BII = Trockenstress ab 50% Blühende, BIII = Trockenstress ab 50% Blühbeginn)

Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: Akzessionen mit vorteilhaften Eigenschaften aus 2015
- Tabelle 2: Akzessionen mit vorteilhaften Eigenschaften aus 2016
- Tabelle 3: Interessante Akzessionen aus 2015/2016

1. Einführung

Gegenstand des Vorhabens

Der Gegenstand des Gesamtvorhabens ist die züchterische Verbesserung der Produktivität der Blauen Süßlupine im Hinblick auf Kornertrag, Ertragssicherheit und -stabilität bzw. Inhaltsstoffqualität. Darüber hinaus soll die enge genetische Basis dieser Fruchtarten durch Einbeziehung pflanzengenetischer Ressourcen verbreitert werden, um das Potenzial für die züchterische Weiterentwicklung zu vergrößern. Des Weiteren sollen pflanzenbauliche Optionen zur Unkrautregulierung im Lupinenanbau erforscht werden.

In einem kombinierten pflanzenzüchterischen und pflanzenbaulichen Ansatz sollen bislang bekannte Resistenzgene zur Entwicklung anthraknoseresistenter Sorten von Blauer Süßlupine genutzt, die in pflanzengenetischen Ressourcen vorhandene, züchterisch nutzbare genetische Variabilität für agronomische und qualitätsrelevante Eigenschaften erforscht und neue Anbausysteme zur Unkrautkontrolle im Lupinenanbau erprobt werden. Des Weiteren soll die Lupinenzüchtung belebt und unterstützt werden durch die Entwicklung von Züchtungsmethoden auf der Grundlage molekularer Selektionsmarker und von Schnellmethoden für die züchterisch relevanten Merkmale Anthraknoseresistenz, Platzfestigkeit, Rohprotein- und Bitterstoffgehalt.

Für das Teilprojekt des IPK ist der Gegenstand des Vorhabens das Screening von genetischen Ressourcen der Blauen Lupine aus der Genbank Gatersleben zur Erweiterung des züchterischen Potentials.

Ziele und Aufgabenstellung des Projekts, Bezug des Vorhabens zu förderpolitischen Zielen (EPS oder andere Bekanntmachungen)

Das Gesamtziel des Vorhabens ist die züchterische Verbesserung der Produktivität der Blauen Süßlupine im Hinblick auf Kornertrag, Ertragssicherheit und -stabilität bzw. Inhaltsstoffqualität.

Im Hinblick auf das Zuchtziel "Ertragssicherheit" sollen bei Blauer Süßlupine für die beiden bis dato bekannten Anthraknose-Resistenzfaktoren *Lanr1* und *LanrBo* molekulare Marker entwickelt werden, die für eine markergestützte züchterische Selektion und Kombination der beiden Resistenzfaktoren in der Sortenzüchtung einsetzbar sind. Um die Resistenz gegenüber Anthraknose auf eine breitere Basis zu stellen, werden 50 Mutantenlinien im Feld auf Anthraknoseresistenz hin geprüft. Im Hinblick auf den realisierbaren Kornertrag werden ausgewählte Linien aus dem Groß Lüsewitzer Mutagenese-Programm in Exaktversuchen auf ihr genetisches Ertragspotential sowie weitere relevante Merkmale (Blühzeitpunkt - Frühzeitigkeit, Wuchshöhe, Wuchstyp, Standfestigkeit, Platzfestigkeit) unter

konventionellen und ökologischen Anbaubedingungen geprüft. Speziell zum Merkmal „Platzfestigkeit“ werden neben Sorten und Zuchtstämmen pflanzengenetische Ressourcen aus der Genbank Gatersleben in die Prüfung einbezogen. Zur Inhaltsstoffqualität wird, unter Einbeziehung von Genbank- und Mutantenlinien, die genetische Variabilität im Rohprotein- und Bitterstoffgehalt untersucht, um die züchterischen Optionen zur Beeinflussung dieser Merkmale abzuschätzen. Zur Vereinfachung des Zuchtprozesses erfolgt die Entwicklung einer zerstörungsfreien Nahinfrarotspektroskopie-Methode (NIRS-Methode) zur Alkaloidvorhersage. Des Weiteren werden pflanzenbauliche Optionen zum Gemengeanbau und zur Unkrautregulierung im Lupinenanbau erforscht. Zur Untersuchung der existierenden genetischen Ressourcen erfolgt ein Screening von Genbankakzessionen.

Im Rahmen des LupiBreed-Projektes ist es Aufgabe des IPK, insgesamt 200 Genbankakzessionen von blauer Lupine mit je 100 Pflanzen auf bestimmte Merkmale, insbesondere Frühzeitigkeit, Platzfestigkeit, Ertrag und Tausendkornmasse (TKM) sowie Einfluss von Trockenstress zu untersuchen. Es werden 75 dieser Akzessionen jährlich am IPK in Kleingewächshäusern und durch die Saatzucht Steinach im Freiland vermehrt, um ausreichende Mengen an Saatgut für die Projektpartner sowie für weitere Forschungs- und Züchtungszwecke zu gewinnen.

Ergebnisse, welche für die Anbauentscheidungen von interessierten Landwirten relevant sein können, wie etwa Ertragsdaten aus den geplanten Exaktversuchen, Aussagen zur Krankheitsresistenz oder zu pflanzenbaulichen Maßnahmen, werden u.a. über die GFPi sowie über die im geplanten Modellhaften Demonstrationsnetzwerk Lupine aufzubauenden Kommunikationsstrukturen in die Praxis transferiert werden.

Mit dem Vorhaben wird somit ein Beitrag zur Ausweitung und Optimierung des Anbaus von Leguminosen in Deutschland geleistet. Das Vorhaben gibt Impulse für eine Belebung der Sortenzüchtung bei Blauer Lupine, für eine Verbesserung der fachlichen Praxis im Lupinenanbau und eine verbesserte Akzeptanz der Lupinen als Proteinlieferanten im Feed- und Food-Bereich.

Planung und Ablauf des Projektes

Das Projekt ist in sechs Arbeitsschwerpunkte untergliedert, die Schwerpunkte sind Anthraknoseresistenz, Platzfestigkeit, Ertrag, Inhaltsstoffe, Unkrautunterdrückung und Gemengeanbau sowie Genetische Ressourcen.

Das IPK ist für den Arbeitsschwerpunkt Genetische Ressourcen verantwortlich. Im ersten und zweiten Versuchsjahr soll ein Screening von 100 Genbankakzessionen mit jeweils mindestens 100 Pflanzen auf

Frühzeitigkeit, Lagerneigung, Platzfestigkeit, Ertrag und TKM durchgeführt werden. Für die Ertragsbestimmung ist Handernte erforderlich, es werden die Hülsen aller Pflanzen ausgewertet. Die TKM wird mit einem Marvin Saatkornanalysegerät ermittelt. Die Bonituren erfolgen nach einem mit den Partnern abgestimmten standardisierten Boniturschema. Die Anzucht der Pflanzen erfolgt in einem Folientunnel. Somit sind die Voraussetzungen geschaffen, um zu prüfen, ob einige Akzessionen eine Trockentoleranz aufweisen. Hierzu wird ein Drittel der Pflanzen normal bewässert, die anderen zwei Drittel zwei verschiedenen Trockenstressvarianten ausgesetzt. Für den Trockenstresstest wird zu Beginn der Blüte bzw. nach der Blüte kein Wasser mehr gegeben. Außerdem werden jeweils 75 Akzessionen am IPK in Kleingewächshäusern vermehrt, um ausreichend Saatgut für weitere Versuche der Partner zur Verfügung stellen zu können und auch nach Projektende weiteres Saatgut für Züchtungsanfragen abgeben zu können. Ergänzend dazu erfolgt eine Vermehrung im Freiland bei Saatzucht Steinach, da im Rahmen des Projektes sehr hohe Pflanzenzahlen benötigt werden.

Im dritten Projektjahr erfolgt ein Screening von 25-50 ausgewählten Akzessionen. Es werden in Abhängigkeit von den im ersten und zweiten Jahr erzielten Ergebnissen weitere Akzessionen untersucht oder Wiederholungsanbau von bereits getesteten Mustern durchgeführt.

Außerdem werden auch im dritten Projektjahr wieder 75 Akzessionen in Kleingewächshäusern vermehrt und auch bei Saatzucht Steinach wieder Freilandvermehrungen durchgeführt.

2. Wissenschaftlicher und technischer Stand

Erhöhung der genetischen Variabilität

Die heute bekannten, bitterstoffarmen („süßen“) Sorten von Blauer Lupine gehen auf wenige im Feld selektierte spontane Mutationen zurück. Das heute verfügbare Süßlupinen-Sortiment dürfte daher auf genetisch schmalen Grundlage stehen. Die Möglichkeiten, in aktuellem Zuchtmaterial auf neue, agronomisch relevante Eigenschaften zu selektieren, sind daher begrenzt. Am JKI in Groß Lüsewitz wurde daher bereits vor einigen Jahren ein Programm zur Erhöhung der genetischen Variabilität bei der Blauen Süßlupine begonnen (Rudloff 2011). Mittlerweile steht hieraus auf der Basis verschiedener Sorten eine Kollektion von Mutantenlinien zur Verfügung, die u. a. neue Wuchstypen repräsentieren. Einige dieser Linien zeigten in Vorversuchen (keine Exaktversuche) ein im Vergleich zur Referenzsorte erhöhtes Kornertragspotenzial (Wachstumskern „PlantsProFood“ Verbundvorhaben 1: Neue Sorten der Blauen Süßlupine als Rohstoff für die Lebensmittelindustrie – „LupiRoh“ – Teilvorhaben 1.2: Entwicklung von Pflanzenmaterial und Selektionsmethoden. Förderkennzeichen: 03WKBV01B).

Als weitere Basis zur Erhöhung der genetischen Variabilität stehen am IPK Gatersleben Genbankakzessionen von *L. angustifolius* zur Verfügung. Aufgrund der limitierten Saatgutmenge konnten diese Akzessionen bisher nicht näher evaluiert werden.

Anthraknoseresistenz

Bei der Blauen Süßlupine ist das Resistenzgen *Lanr1* aus der australischen Sorte 'Tanjil' (Yang et al. 2004) bekannt. Im Rahmen des Vorhabens 'Entwicklung und Einsatz innovativer Züchtungsstrategien zur Sicherung und Erhöhung des Ertrages und der Anbaubedeutung der Blauen Süßlupine (*Lupinus angustifolius*)' (Programms zur Innovationsförderung, FKZ 28-1-41.028-06) konnte ein weiteres Resistenzgen, *LanrBo*, aus der Zuchtlinie Bo7212 der Fa. Saatzeit Steinach identifiziert werden, welches für den Lupinenanbau in Deutschland Relevanz aufweist (Ruge-Wehling et al. 2009). Für *LanrBo* wurden F2-Kartierungspopulationen entwickelt, die mit molekularen Markern genotypisiert wurden und eine Zuordnung von *LanrBo* zur Kopplungsgruppe NLL-11 von *L. angustifolius* (Nelson et al. 2010) ermöglichen. Hier kann ein Screening von genetischen Ressourcen helfen, weiteres anthraknoseresistentes Material zu finden.

Platzfestigkeit

Sorten mit erhöhter Platzfestigkeit der Blauen Süßlupine würden zu höheren und stabileren Erträgen beitragen, denn ein großer Teil von Ernteverlusten wird durch das Platzen der Hülsen vor dem Drusch verursacht (Eickmeyer 2009). Das Problem des Hülsenplatzens und züchterische Ansätze zu dessen Reduktion wurden bereits von Sengbusch und Zimmermann (1937) beschrieben. Hackbarth (1938) konnte bei der Gelben Lupine einen monogen-rezessiven Erbgang für dieses Merkmal belegen. Gladstones (1967) identifizierte in der blauen Süßlupine die zwei rezessiven Gene *tardus* und *lentus*, die nur in Kombination ein Platzen vollständig verhindern. Homozygotie des *lentus*-Allels ist an rötlich gefärbten Stängel und Hülseninnenseiten zu erkennen. Boersma et al. (2007) und Li et al. (2012) entwickelten PCR-Marker für die Selektion auf *lentus*. Li et al. (2010) veröffentlichten eng gekoppelte Marker und PCR-Assays für das *tardus*-Allel. Die Arbeiten der australischen Wissenschaftler beschränkten sich auf Analysen mit australischem Material. Auch hier kann ein Screening von genetischen Ressourcen helfen, weiteres platzfestes Material zu finden.

Korninhaltsstoffanalyse

Mit Blick auf die Eiweißversorgung werden Lupinensorten benötigt, die neben einem hohen Kornertrag über einen hohen und stabilen Eiweißgehalt verfügen und gleichzeitig bitterstoffarm sind. Lupinen zählen zu den Leguminosen mit den höchsten Eiweißgehalten (Jansen und Balko 2012). Durch die Forderung einer weitgehend importunabhängigen Futterproduktion im Ökolandbau sind sie vermehrt

von Interesse. Das Zuchtziel sicherer Korninhaltsstoffqualitäten gehört zu den Herausforderungen in der Züchtung von Blauen Lupinen für Feed- und Food-Verwendungen. Rohproteingehalt und Alkaloid-Restgehalt bestimmen maßgeblich die Kornqualität bei Süßlupinen (Eickmeyer 2009).

Zur Erfassung des Rohproteingehaltes in Einzelsamen von Blauen Lupinen wurde am JKI, Institut für Resistenzforschung und Stresstoleranz, eine zerstörungsfrei arbeitende NIR-Methode an Einzelkörnern etabliert, die es ermöglicht, auch anhand sehr geringer Materialmengen Proteingehalte zu ermitteln und anschließend die unversehrten Samenkörner für Züchtungsarbeiten zu nutzen (Jansen et al. 2009). Im Hinblick auf den Alkaloid-Restgehalt von bitterstoffarmen Süßlupinen sind Umwelteinflüsse auf den Bitterstoffgehalt, insbesondere die Wirkung verschiedener Düngemittel (Ciesiolka et al. 2005) und der Anbautemperatur (Jansen et al. 2009) bekannt. Um eine Überschreitung bestehender Richtwerte zu vermeiden, sind Sorten mit niedrigem Bitterstoffgehalt unter allen Anbaubedingungen vorteilhaft. Mittels GC/MS (Gaschromatographie, gekoppelt mit Massenspektrometer) kann eine exakte Bestimmung der Bitterstoffe (Alkaloide) durchgeführt werden (Jansen et al. 2009). Der Einsatz der NIR-Technik als schnelle Bestimmungsmethode ist in der internationalen Literatur für einige Inhaltsstoffe in Kulturpflanzen und Futtermitteln bereits beschrieben. Mittlerweile konnte für die Lupinenarten Blaue, Gelbe und Weiße Lupine eine NIR-Methode zur Bestimmung des Proteingehaltes an ganzen Körnern entwickelt werden (Jansen et al. 2014). Die Untersuchung von Genbankmaterial wird zeigen, welche Protein- bzw. Alkaloidgehalte verfügbar sind.

Insgesamt soll das Screening von Genbankmaterial einen Beitrag leisten zur Erhöhung der genetischen Variabilität sowie Verbesserung der Eigenschaften Anthraknoseresistenz, Platzfestigkeit und Inhaltsstoffe.

3. Material und Methoden

Pflanzenmaterial

In Absprache mit den Projektpartnern wurden 218 Genbankakzessionen von Blauer Lupine (*Lupinus angustifolius* L.) aus der Gaterslebener Kollektion ausgewählt, um diese auf agronomische und morphologische Eigenschaften sowie auf Trockenstressresistenz zu untersuchen.

In 2015 wurden 114 Genbankakzessionen angebaut, dazu die beiden Vergleichssorten Tanjil (Sorte mit platzfesten Hülsen) und Antaniai (Sorte mit platzenden Hülsen), in 2016 waren es 104 Genbankakzessionen und wiederum die beiden Vergleichssorten Tanjil und Antaniai. Im dritten Projektjahr 2017 wurden aus den 218 Akzessionen 52 für eine Wiederholung ausgewählt, dazu

wiederum die Sorten Tanjil und Antaniai sowie zwei Sorten von Saatzucht Steinach, „Boregine“ und „Probor“.

Anbau des Materials

Der Anbau erfolgte in allen drei Jahren in einem Folientunnel (Abb. 1). Das Saatgut wurde heißwasserbehandelt, um die Samenschale aufzubrechen und damit eine bessere Keimung zu erzielen. Außerdem wurden Knöllchenbakterien in die Pflanzerde eingebracht. Insgesamt wurden in den ersten beiden Jahren 105 Pflanzen pro Akzession, 21 Töpfe mit je 5 Pflanzen, in den Folientunnel auf drei Blöcke aufgeteilt. Da das Wasser des IPK zu basisch ist, erfolgte das Gießen der Pflanzen mit einer auf pH 5,5-6,5 eingestellten Lösung.



Abb. 1: Anbau des Pflanzenmaterials im Folientunnel

Da relativ früh Krankheiten, v. a. Wurzelkrankheiten, auftraten, musste mehrfach eine Fungizidbehandlung durchgeführt werden. Gegen Thripsbefall wurden Nützlinge eingesetzt.

Für die Untersuchungen auf Resistenz gegen Trockenstress wurde Block I über die gesamte Vegetationsperiode normal bewässert (Kontrolle für den Trockenstresstest). An diesen Pflanzen wurden auch die Bonituren durchgeführt. Des Weiteren wurden zwei verschiedene Trockenstressvarianten in Block II (keine Wassergabe mehr, wenn 50% der Pflanzen verblüht waren) und in Block III (keine Wassergabe mehr, wenn 50% der Pflanze zu Blühen beginnen) durchgeführt.

Im dritten Projektjahr wurden 72 Pflanzungen pro Akzession angebaut in 24 Töpfen mit je 3 Pflanzungen. Es wurde auf eine Trockenstressvariante reduziert (keine Wassergabe mehr, wenn 50% der Pflanzungen verblüht waren), da sich die andere Variante als zu stark herausgestellt hatte.

Bonituren

Alle Akzessionen wurden nach einem mit den Partnern festgelegten Boniturschema beschrieben (Anhang 1).

Vermehrung des Genbankmaterials

In jedem der drei Projektjahre wurden 75 Genbankakzessionen zur Vermehrung in Kleingewächshäusern des IPK am Standort Gatersleben angebaut (Abb. 2).



Abb. 2: Vermehrung von Lupinenakzessionen im Kleingewächshaus

Abgabe von Saatgut an die Partner

In 2015 und 2016 wurden jeweils 100 Genbankakzessionen (je 300 heißwasserbehandelte Samen), die auch in Gatersleben im Anbau waren, an Saatzucht Steinach (SZS) für einen Feldanbau abgegeben; in 2017 waren es 38 Akzessionen. Die Abgabe erfolgte unter den Regelungen der Standardmaterialtransfervereinbarung (SMTA).

4. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

Bonituren

Alle Akzessionen wurden nach einem mit den Partnern festgelegten Boniturschema beschrieben (siehe Anhang). Alle Lupinenboniturdaten sind im Genbankinformationssystem (GBIS) des IPK erfasst und online frei verfügbar. Für das dritte Versuchsjahr wurden 52 Akzessionen nach den Kriterien Krankheitsresistenz, frühe Blüte und Reife, Platzfestigkeit, hoher Ertrag, Trockenstressresistenz, niedriger Alkaloidgehalt, hoher Proteingehalt und Anthraknoseresistenz ausgewählt. Für die Züchtung besonders interessante Ergebnisse werden hier detailliert vorgestellt.

Krankheitsresistenz

Bereits im frühen Stadium traten Wurzelkrankheiten auf. Bevor diese durch Einsatz von Pflanzenschutzmitteln eingedämmt wurden, konnten speziell aus dem Material von 2016 nicht befallene, krankheitsresistente Akzessionen gefunden werden, die sich ähnlich wie die Zuchtsorten verhalten (Abb. 3, 4). Es ist also Genbankmaterial für weiteres Resistenzscreening unter Freilandbedingungen vorhanden. Auf Anthraknose konnte nicht untersucht werden, da aufgrund des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln keine Anthraknose auftrat. Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln war aber unabdingbar, da sonst der Bestand im Folientunnel zusammengebrochen wäre.

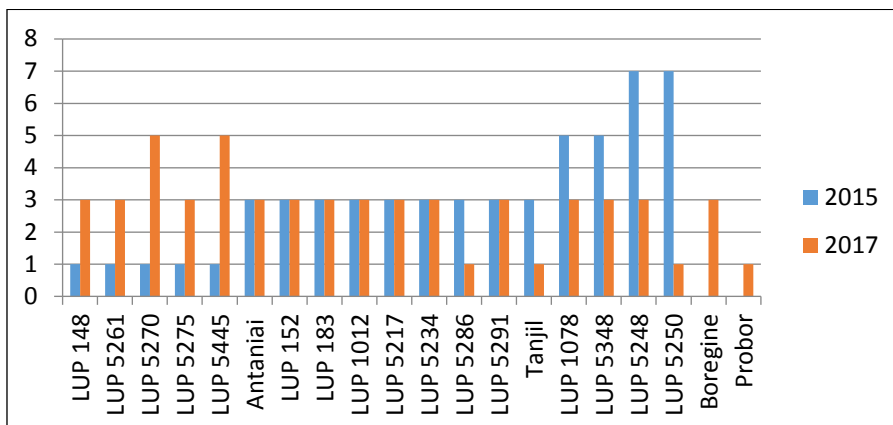


Abb. 3: Vergleich des Krankheitsbefalls der Jahre 2015 und 2017

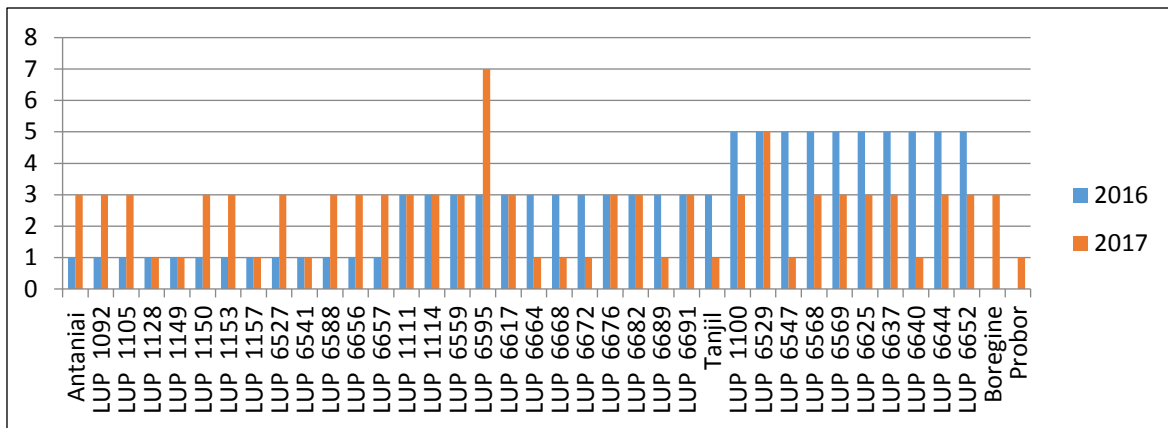


Abb. 4: Vergleich des Krankheitsbefalls der Jahre 2016 und 2017

Frühzeitigkeit (Frühblütigkeit / Frühreife)

Es konnten in den Jahren 2015/2016 sowie in der Wiederholung in 2017 nur wenige Akzessionen gefunden werden, die in puncto Frühblütigkeit (Abb. 5, 6) wie auch Frühreife mit den Zuchtsorten konkurrieren konnten. Nur die LUP 5250 zeigt in 2017 ähnliche Eigenschaften wie die Sorten Boregine und Probor.

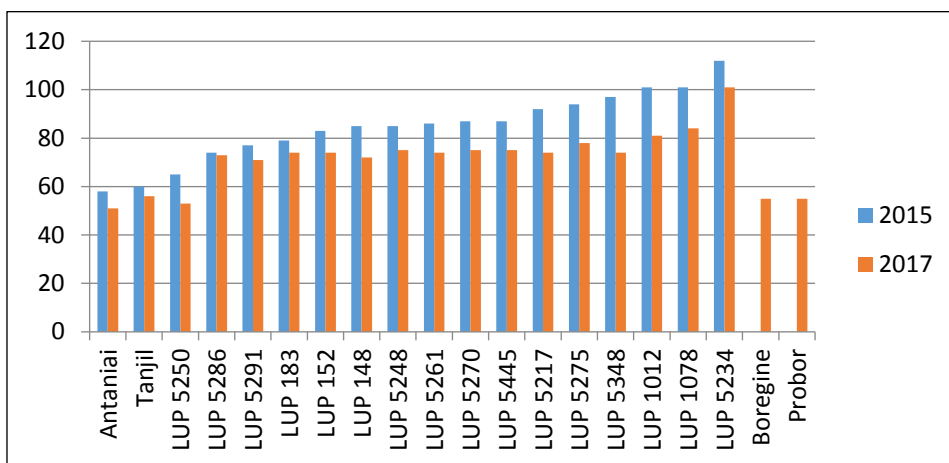


Abb. 5: Vergleich der Frühblütigkeit der Jahre 2015 und 2017

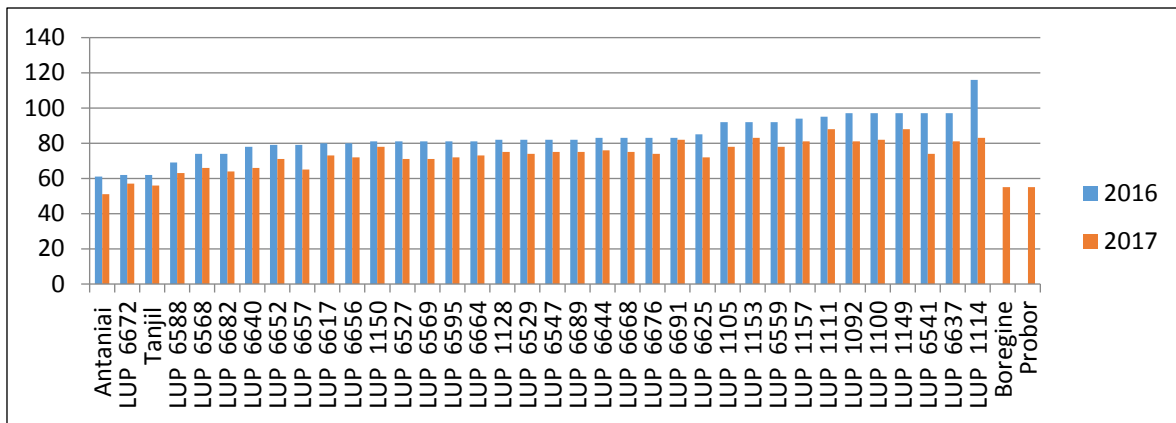


Abb. 6: Vergleich der Frühblütigkeit der Jahre 2016 und 2017

Platzfestigkeit

Es wurden einige Akzessionen gefunden, die platzfeste Hülsen aufweisen (Abb. 7, 8). Allerdings waren die Bedingungen im Folientunnel speziell in den Jahren 2016 und 2017 aufgrund von kalten Temperaturen und Feuchtigkeit im Juli und August nicht gut geeignet, um auf Platzfestigkeit zu testen. Selbst bei der als platzend bekannten Sorte Antaniai waren die Hülsen nicht geplatzt.

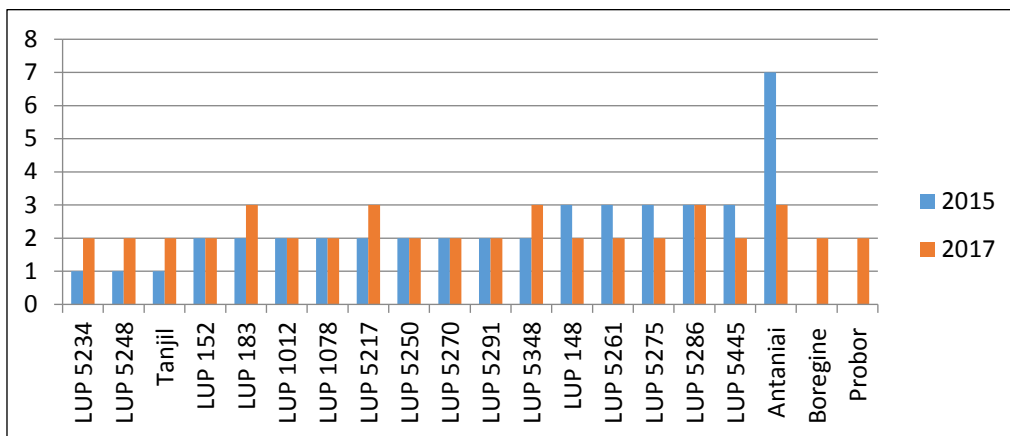


Abb. 7: Vergleich der Platzfestigkeit der Jahre 2015 und 2017

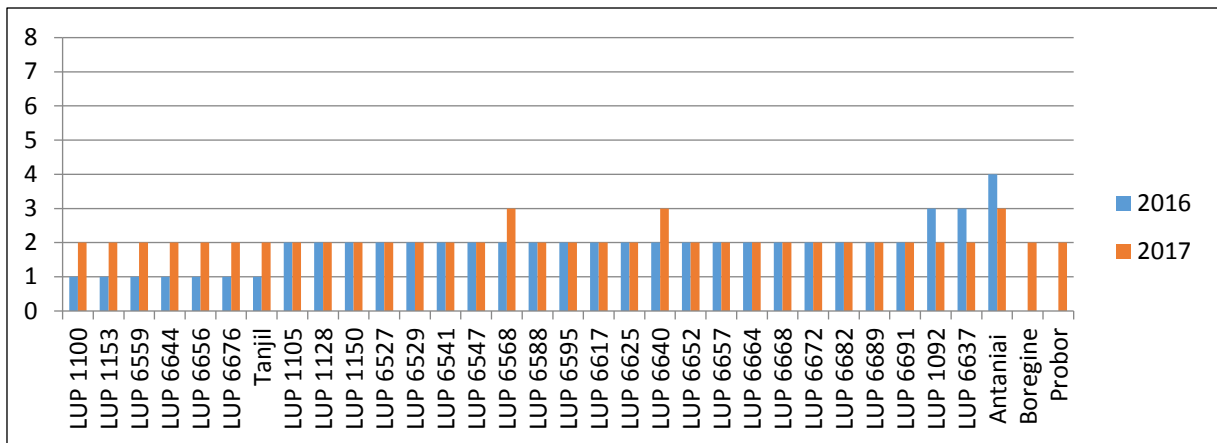


Abb. 8: Vergleich der Platzfestigkeit der Jahre 2016 und 2017

Ertrag / TKM

Die Zuchtsorten waren im Ertrag und auch bei der Tausendkornmasse überwiegend besser als die Genbankakzessionen. Insgesamt fünf Akzessionen hatten in 2017 einen deutlich höheren Ertrag und auch höhere TKM als die Zuchtsorten (Abb. 9, 10).

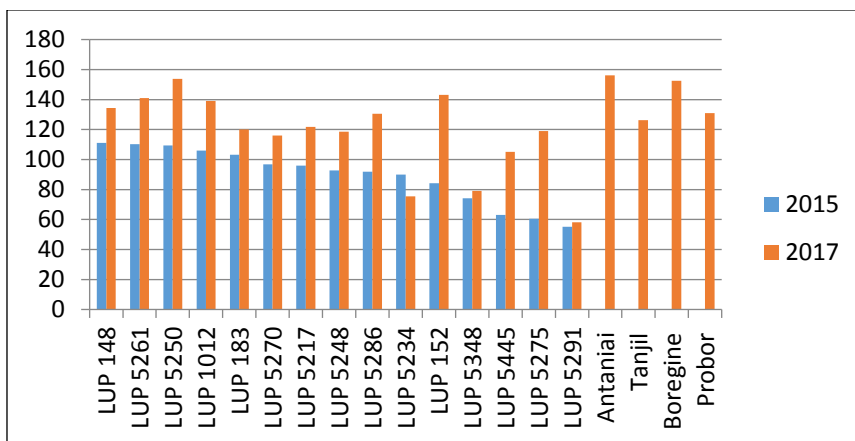


Abb. 9: Vergleich der TKM der Jahre 2015 und 2017

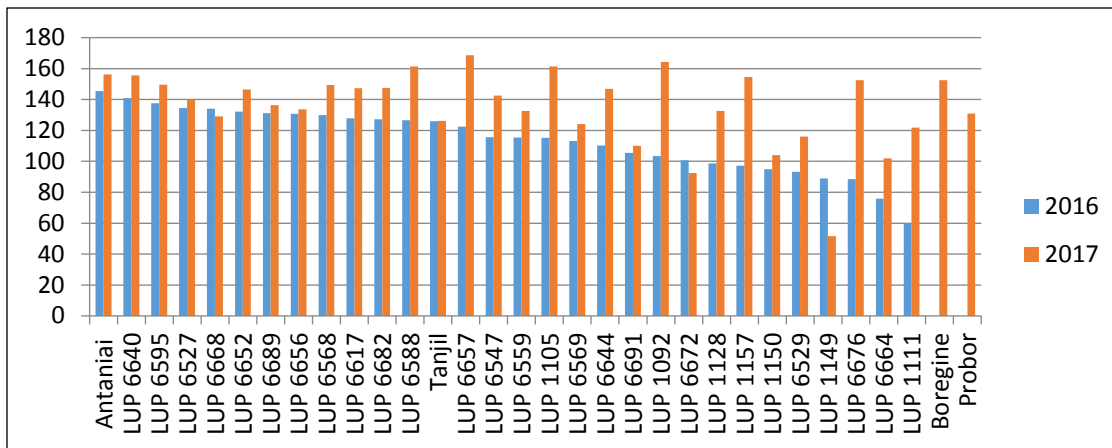


Abb. 10: Vergleich der TKM der Jahre 2016 und 2017

Bei einer Akzession (LUP 5217) kam es auffällig oft zur Ausbildung von Doppelhülsen (Abb. 11), was sich auf den Ertrag, aber nicht deutlich aufs TKM auswirkt.



Abb. 11: Doppelhülse bei LUP 5217

Vergleicht man den Ertrag und auch die Tausendkornmasse zwischen dem Folientunnelanbau in Gatersleben mit dem Freilandanbau der Saatzucht Steinach in Bocksee, so ist bei den meisten Akzessionen der Ertrag, aber auch die Tausendkornmasse unter Feldbedingungen deutlich höher (Abb. 12).

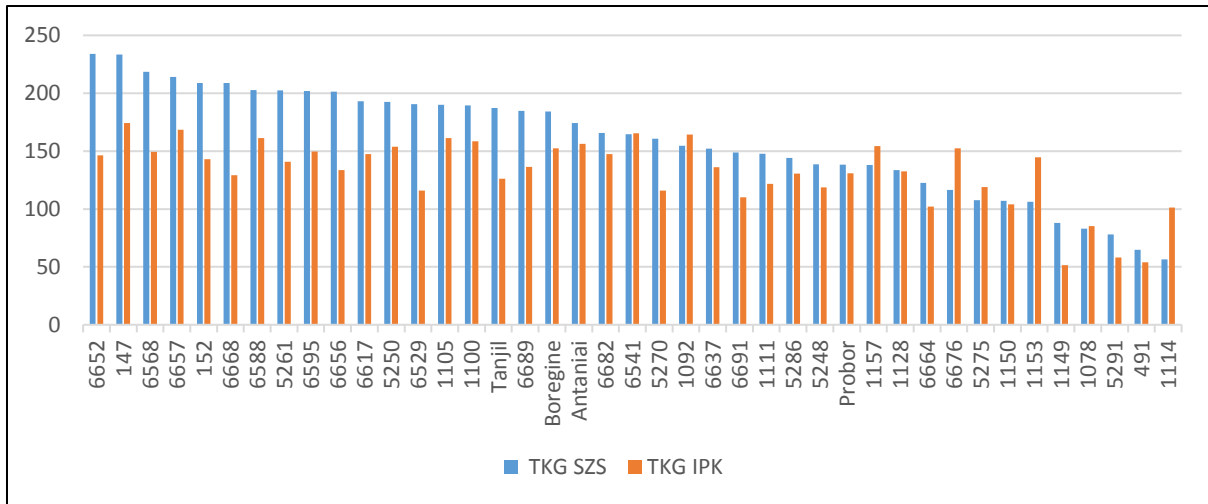


Abb. 12: Vergleich der Tausendkornmasse (TKG) zwischen Saatzucht Steinach und IPK

Eine Korrelation zwischen Erntebeginn und Ertrag (Abb. 13) sowie zwischen TKM und Ertrag (Abb. 14) zeigte jeweils keine Signifikanz.

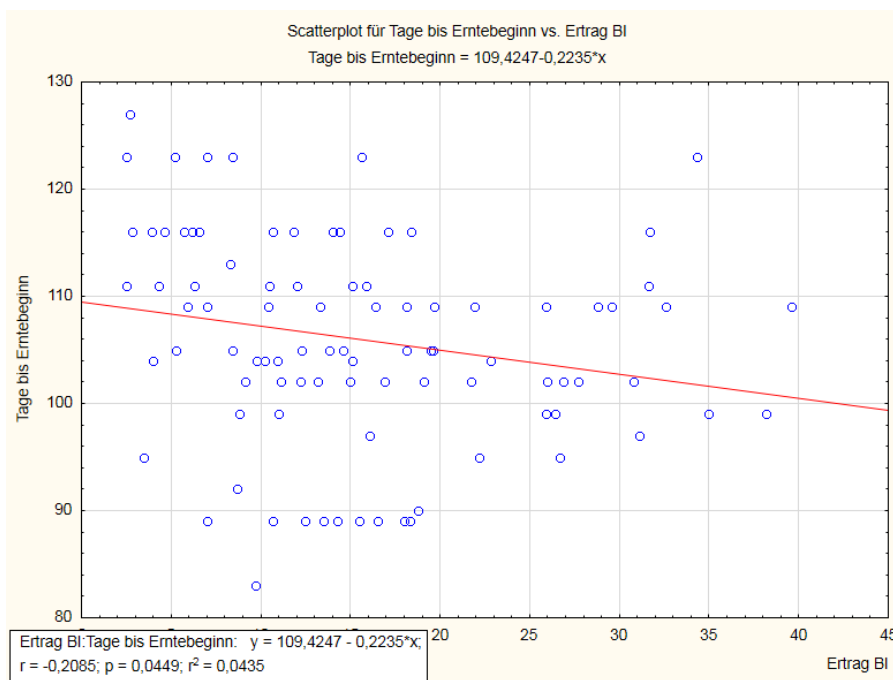


Abb. 13: Korrelation zwischen Erntebeginn und Ertrag

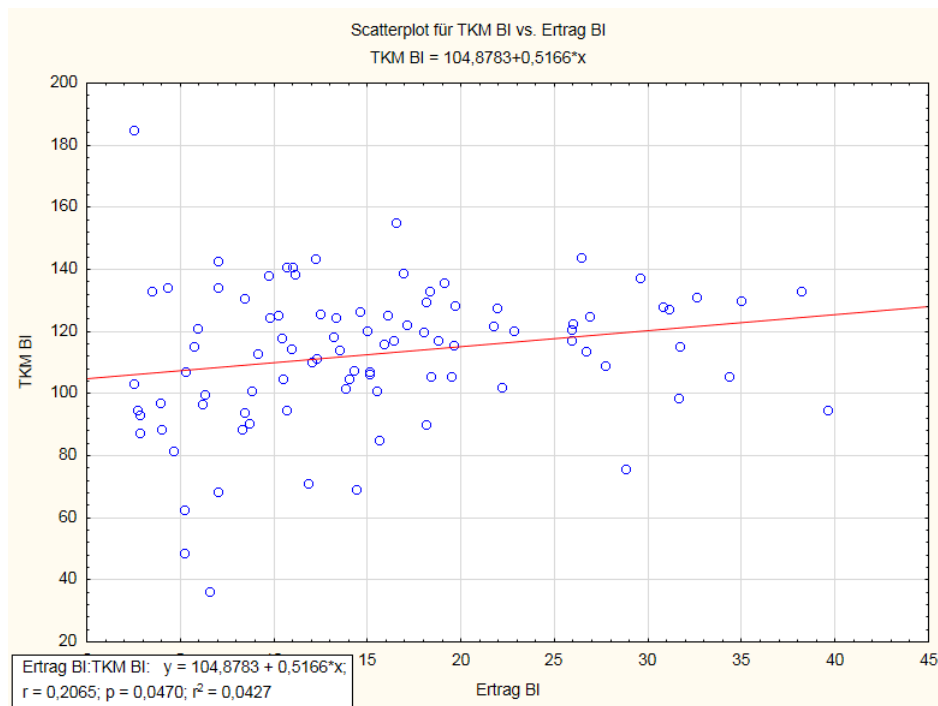


Abb. 14: Korrelation zwischen TKM und Ertrag

Trockenstressresistenz

Für die Untersuchungen auf Resistenz gegen Trockenstress wurde Block I über die gesamte Vegetationsperiode normal bewässert (Kontrolle für den Trockenstresstest). An diesen Pflanzen wurden auch die Bonituren durchgeführt. Des Weiteren wurden zwei verschiedene Trockenstressvarianten in Block II (keine Wassergabe mehr, wenn 50% der Pflanzen verblüht waren) und in Block III (keine Wassergabe mehr, wenn 50% der Pflanze zu Blühen beginnen) durchgeführt. Die Unterschiede in der Tausendkornmasse sind in Abbildung 15 erfasst. Exemplarisch werden die Ergebnisse aus 2016 aufgezeigt. Man sieht, dass in der Regel die normal bewässerte Kontrolle die höchste TKM aufweist. Es gibt aber einzelne Akzessionen, die unter Trockenstress eine höhere TKM aufweisen als unter Normalbedingungen.

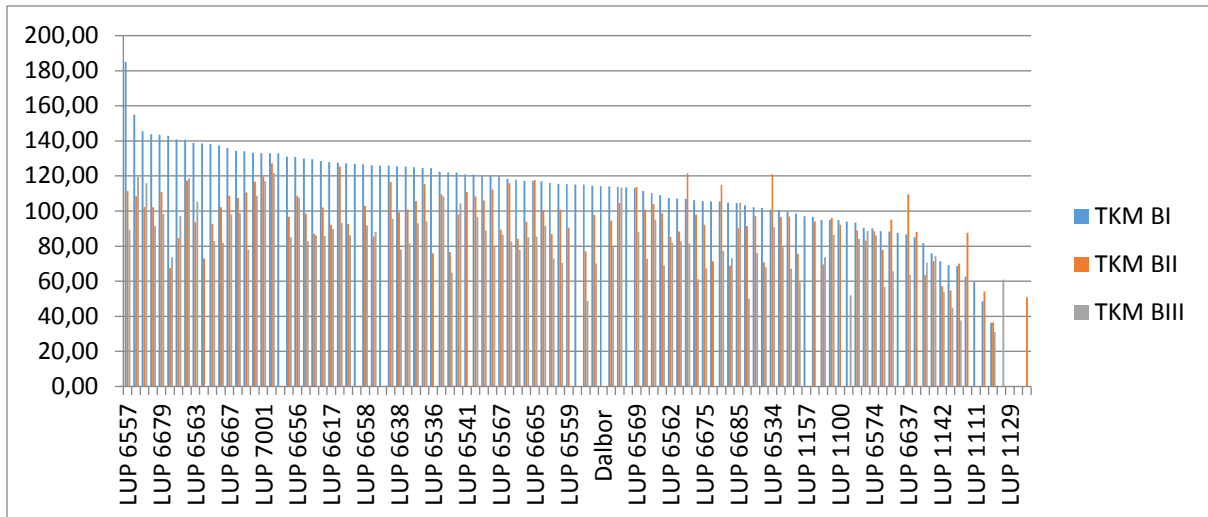


Abb. 15: TKM-Vergleich zwischen den Anbaublöcken in 2016 (BI = Kontrolle, BII = Trockenstress ab 50% Blühende, BIII = Trockenstress ab 50% Blühbeginn)

Gesamtergebnis

Aus den Anbauten der Jahre 2015 und 2016 konnten unter Einbeziehung aller Merkmale Akzessionen mit guten bis sehr guten Eigenschaften ermittelt werden (Tab. 1, 2)

Tabelle 1: Akzessionen mit vorteilhaften Eigenschaften aus 2015

Merkmal	Akzessionen
Blütenfarbe weiß, Samenfarbe weiß, ohne Ornamentierung	LUP 117, LUP 5250, LUP 5256
Krankheitssymptome fehlend	LUP 101, LUP 147, LUP 148, LUP 151, LUP 160, LUP 488, LUP 1041, LUP 5261, LUP 5266, LUP 5270, LUP 5275, LUP 5335, LUP 5360, LUP 5365, LUP 6518
Früher Blütezeitpunkt (5 beste Akz.)	'Antaniai', 'Tanjil', LUP 5238, LUP 5250, LUP 151
Früher Erntebeginn (5 beste Akz.)	'Antaniai', LUP 5250, 'Tanjil', LUP 5238, LUP 102
Hülsen platzfest	LUP 106, LUP 139, LUP 149, LUP 154, LUP 155, LUP 159, LUP 488, LUP 1069, LUP 5202, LUP 5205, LUP 5229, LUP 5234, LUP 5236, LUP 5240, LUP 5248, LUP 5258, LUP 5318, LUP 5352, LUP 5366, LUP 5458, LUP 5475, LUP 5490, LUP 5494, LUP 6517 LUP 6518, LUP 6519, 'Tanjil'
Größte Hülsenlänge (5 beste Akz.)	LUP 154, LUP 5234, LUP 135, LUP 196, LUP 139
Höchster Ertrag pro Pflanze (Block I, 10 beste Akz.)	LUP 196, LUP 5270, LUP 189, LUP 102, LUP 146, LUP 101, LUP 5248, LUP 195, LUP 147, LUP 132
Höchste Stresstoleranz (Block II, 5 beste Akz.)	LUP 145, LUP 5503, LUP 5275, LUP 5348, LUP 1027
Höchste Stresstoleranz (Block III, 5 beste Akz.)	LUP 5503, LUP 5275, LUP 5448, LUP 155, LUP 5348

Tabelle 2: Akzessionen mit vorteilhaften Eigenschaften aus 2016

Merkmal	Akzessionen
Blütenfarbe weiß, Samenfarbe weiß, ohne Ornamentierung	LUP 6560, LUP 6571, LUP 6653, LUP 6655, LUP 6678, LUP 6696
Krankheitssymptome fehlend	LUP 1085, LUP 1092, LUP 1098, LUP 1103, LUP 1105, LUP 1127, LUP 1128, LUP 1129, LUP 1149, LUP 1150, LUP 1153, LUP 1155, LUP 1157, LUP 6521, LUP 6525, LUP 6527, LUP 6541, LUP 6550, LUP 6587, LUP 6588, LUP 6656, LUP 6657, LUP 6665, LUP 6679, Antaniai
Früher Blütezeitpunkt (5 beste Akz.)	Lazur, LUP 6528, LUP 6554, LUP 6562, LUP 6567
Früher Erntebeginn (5 beste Akz.)	Lazur, LUP 6528, Antaniai, LUP 6554, LUP 6567
Hülsen platzfest	LUP 1085, LUP 1108, LUP 1111, LUP 1129, LUP 1130, LUP 6560, LUP 6575
Größte Hülsenlänge (5 beste Akz.)	LUP 6681, LUP 6692, LUP 1150, LUP 6565, LUP 1126
Höchster Ertrag pro Pflanze (Block I, 10 beste Akz.)	LUP 1150, LUP 6588, LUP 6568, LUP 6691, LUP 6689, LUP 1105, LUP 1128, LUP 6682, LUP 6617, LUP 6595
Höchste Stresstoleranz (Block II, 5 beste Akz.)	LUP 1092, LUP 6637, LUP 6557, LUP 6541, LUP 6668
Höchste Stresstoleranz (Block III, 5 beste Akz.)	LUP 6637, LUP 6557, LUP 6656, LUP 6529, LUP 6569

Unter Einbeziehung der Protein- und Alkaloiddaten, die vom Julius Kühn-Institut bereitgestellt wurden, gibt es insgesamt sechs besonders interessante Akzessionen (Tab. 3).

Tabelle 3: Interessante Akzessionen aus 2015/2016

Akzession	Merkmal	Akzessionsname	Ursprungsland	Donor (Eingangsdatum)
LUP 147 (alte Sorte)	Krankheitsresistent, hoher Ertrag, hoher Protein-, niedriger Alkaloidgehalt	Slapska		Brno, CZE (1958)
LUP 5250 (alte Sorte)	Weißblütig, weiße Samen, frühzeitig, frühreif, hoher Protein-, niedriger Alkaloidgehalt	Nemcinovskij Kormovoj 1	Frühere Sowjet- union	Department of Agriculture Western Australia, AUS (BAZ BS 2003)
LUP 5270 (wild)	Krankheitsresistent, hoher Ertrag, hoher Proteingehalt			Department of Agriculture Western Australia, AUS (BAZ BS 2003)
LUP 5275 (wild)	Krankheitsresistent, trockenstresstolerant		Italien	MPI Scharnhorst (BAZ BS 2003)
LUP 5335 (wild)	Krankheitsresistent, hoher Proteingehalt	GM 042	Marokko	Department of Agriculture Western Australia, AUS (BAZ BS 2003)
LUP 1128 (unbekannt)	Krankheitsresistent, hoher Ertrag, hoher Proteingehalt		Portugal	Botanischer Garten Universität Lissabon, Portugal (1978)

Es konnten somit Akzessionen gefunden werden, die für die weitere Züchtung eingesetzt werden können.

Vermehrung des Genbankmaterials

Insgesamt wurden in den drei Projektjahren 225 Genbankakzessionen zur Vermehrung angebaut. Im Rahmen dieses Anbaus konnten 116 Akzessionen erfolgreich vermehrt werden, d.h. es konnte ein Sicherheitsduplikat für den Svalbard Global Seed Vault bereitgestellt werden, und es liegt ausreichend Saatgut für weitere Forschung und Züchtung vor. Das Saatgut wurde in den Kühlzellen des IPK eingelagert. Von 89 Akzessionen konnte nicht ausreichend Saatgut geerntet werden und 20 Akzessionen hatten aufgrund schlechter Keimfähigkeit keinen Aufwuchs. Der Anbau bzw. die Vermehrung dieser 109 Akzessionen wird im Rahmen der regulären Genbankvermehrung wiederholt.

5. Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse der agronomischen und morphologischen Charakterisierungen sowie die Versuche zur Trockenstressresistenz zeigen große Variabilität innerhalb der untersuchten genetischen Ressourcen von Blauer Lupine (*Lupinus angustifolius* L.). Es gibt viele Akzessionen mit positiven Charaktereigenschaften und auch einige Akzessionen, die über mehrere positive Eigenschaften verfügen. Dies zeigt, dass ein Screening von Genbankmaterial ein lohnenswerter Ansatz ist, um interessante Merkmale zu finden und für die weitere Züchtung einzusetzen. Arbeiten mit genetischen Ressourcen zeigen auch in anderen Bereichen ähnliche Ergebnisse. Speziell bei Leguminosen gibt es einige Veröffentlichungen, z. B. bei weißer Lupine – *Lupinus albus* L. (Rybinski et al., 2018) und bei der Saat-Platterbse – *Lathyrus sativus* L. (Grela et al., 2010). Auch bei Inhaltsstoffen lassen sich qualitative und quantitative Unterschiede finden, z. B. bei verschiedenen Wicken-Arten, aber auch innerhalb von Arten (Lahuta et al., 2018). Auch schon in der älteren Literatur gibt es Hinweise, dass sowohl bei Blauer Lupine wie auch bei Gelber und Weißer Lupine Variabilität sowohl bei morphologischen Merkmalen wie auch bei Protein- und Alkaloidgehalten vorhanden ist (Sengbusch 1931, 1938). Leider sind die dort beschriebenen Stämme bis auf einige wenige nicht mehr auffindbar. Auch die daraus entwickelten Mutantenstämme (Zachow 1967) mit den beschriebenen Genen sind nicht mehr vorhanden. Auf Basis der im Projekt gefundenen Ergebnisse sollten molekulare Marker entwickelt werden, die ein schnelles Screening des Materials ermöglichen und die Züchtung neuer Sorten erleichtern. Mit dem Einkreuzen von Genbankmaterial in die vorhandenen Sorten und Zuchtstämme kann auf jeden Fall eine Erweiterung des Genpools erreicht werden.

6. Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse

Das Screening der pflanzengenetischen Ressourcen hat einige Akzessionen aufgezeigt, die sehr gute Ergebnisse im Hinblick auf Krankheitsresistenz, Ertrag, TKM, Platzfestigkeit und Anpassung an Trockenstress hervorgebracht haben. Zusätzlich spielen die Alkaloid- und Proteindaten eine wichtige Rolle. Diese Akzessionen wurden auch unter Freilandbedingungen in Bocksee bei Saatzucht Steinach getestet. Dort ließen sich die Ergebnisse in einem ersten Versuch bestätigen. Dieser Anbau wird jetzt mehrortig wiederholt, um die Stabilität der Eigenschaften zu bewerten. Bereits erste Kreuzungen von Zuchtmaterial der SZS mit Genbankmaterial wurden vorgenommen. Wenn sich diese als positiv erweisen, können neue Sorten von Blauer Lupine zur Zulassung kommen. Die Genbankakzessionen haben somit einen Beitrag in der Entwicklung neuer, ertragreicher und gesunder Sorten geleistet.

7. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen

Im Rahmen des Projektes sollten 225 Akzessionen, davon 200 Genbankakzessionen, auf mögliche positive Eigenschaften untersucht werden. Insgesamt wurden 227 Akzessionen (218 Genbankakz.) getestet, das Ziel wurde erfüllt. 56 Akz. wurden wiederholt angebaut, um die Stabilität der Eigenschaften zu prüfen. Dabei wurden mindestens sechs Akzessionen mit hervorragenden Eigenschaften gefunden, die jetzt der weiteren Züchtung zur Verfügung stehen.

Des Weiteren sollten 225 Genbankakzessionen erfolgreich vermehrt werden. Im Rahmen dieses Anbaus konnten 116 Akzessionen erfolgreich vermehrt werden. Von 89 Akzessionen konnte nicht ausreichend Saatgut geerntet werden und 20 Akzessionen hatten aufgrund schlechter Keimfähigkeit keinen Aufwuchs. Hier ist das Ziel nicht erfüllt. Der Anbau bzw. die Vermehrung dieser 109 Akzessionen wird aber im Rahmen der regulären Genbankvermehrung wiederholt, so dass in den nächsten Jahren auch von diesen Akzessionen Material zur Verfügung stehen wird.

Es wurden in den ersten beiden Jahren jeweils 100 Akzessionen von Saatzucht Steinach für den Freilandanbau bestellt, im dritten Jahr 38. Alle gewünschten Muster wurden abgegeben.

8. Zusammenfassung

Im LupiBreed Projektteil Genetische Ressourcen wurden insgesamt 227 Akzessionen in Gatersleben angebaut. Diese wurden nach einem mit den Projektpartnern abgestimmten Boniturschema beschrieben. Insgesamt wurden 42 agronomische und morphologische Merkmale erfasst. Besonderes Augenmerk wurde auf die Merkmale Krankheitsresistenz, Frühzeitigkeit, Ertrag, TKM, Platzfestigkeit und Anpassung an Trockenstress gelegt. Im dritten Projektjahr wurden dann 56 ausgewählte

Akzessionen als Wiederholung angebaut, um die Ergebnisse zu bestätigen. Für die Merkmale Krankheitsresistenz, Ertrag, TKM, Platzfestigkeit und Trockenstress konnten Genbankakzessionen gefunden werden, die genauso gut oder sogar besser als auf dem Markt befindliche Sorten waren. Nur bei dem Merkmal Frühzeitigkeit waren die Sorten generell besser als das Genbankmaterial. Somit lässt sich feststellen, dass innerhalb der genetischen Ressourcen einige Akzessionen vorhanden sind, die für Züchtungszwecke geeignet sind und bereits in Kreuzungen eingesetzt wurden.

In den drei Projektjahren wurden pro Jahr 75 Akzessionen zur Vermehrung angebaut. Von den 225 Akzessionen konnten 116 Akzessionen erfolgreich vermehrt werden, d.h. es konnte ein Sicherheitsduplikat für den Svalbard Global Seed Vault bereitgestellt werden, und es liegt ausreichend Saatgut für weitere Forschung und Züchtung vor. Von 89 Akzessionen konnte nicht ausreichend Saatgut geerntet werden und 20 Akzessionen hatten aufgrund schlechter Keimfähigkeit keinen Aufwuchs. Der Anbau bzw. die Vermehrung dieser 109 Akzessionen wird im Rahmen der regulären Genbankvermehrung wiederholt.

9. Literaturverzeichnis

- Boersma JG, Buirchell BJ, Sivasithamparam K, Yang H (2007) Development of two sequence-specific PCR markers linked to the *le* gene that reduces pod shattering in narrow-leaved lupin (*Lupinus angustifolius* L.). *Genet Mol Biol* 30:623–629
- Ciesiolka D, Muzquiz M, Burbano C, Altares P, Pedrosa MM, Wysocki W, Folkman W, Popenda M, Gulewicz K (2005) An effect of various nitrogen forms used as fertilizer on *Lupinus albus* L. yield and protein, alkaloid and alpha-galactosides content. *J Agron & Crop Sci* 191:458–463
- Eickmeyer F (2009) Alte und neue Herausforderungen in der Züchtung von Leguminosen. *J Kulturpfl* 61(9):352–358
- Gladstones JS (1967) Selection for economic characters in *Lupinus angustifolius* and *L. digitatus*. *Aust J Exp Agric Anim Husb* 7:360–366
- Grela ER, Rybiński W, Klebaniuk R, Matras J (2010) Morphological characteristics of some accessions of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) grown in Europe and nutritional traits of their seeds. *Genet. Resour. Crop Evol.* 57:693-701
- Hackbarth J (1938) Cytologie und Vererbung bei den Lupinenarten. *Der Züchter* 10(2): 33–41
- Jansen G, Balko C (2012) Leguminosen unter Stress – Stabilität von Ertrag und Qualität. *Das Blatt* 4/2012, Dezember, 1. Jahrgang, 48–51
- Jansen G, Jugert M, Ordon F (2014) High-throughput screening for protein content in blue, yellow and white lupins. 64. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs 2013, 19–20, http://www.raumberg-gumpenstein.at/c/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=668&Itemid=100103&lang=de
- Jansen G, Jürgens HU, Ordon F (2009) Effects of temperature on the alkaloid content of seeds of *Lupinus angustifolius* cultivars. *J Agron Crop Sci* 195(3):172–177

- Lahuta LB, Ciak M, Rybínski W, Bocianowski J, Börner A (2018) Diversity of the composition and content of soluble carbohydrates in seeds of the genus *Vicia* (Leguminosae). *Genet. Resour. Crop Evol.* 65:541-554
- Li X, Renshaw D, Yang HA, Yan GJ (2010) Development of a co-dominant DNA marker tightly linked to gene *tardus* conferring reduced pod shattering in narrow-leafed lupin (*Lupinus angustifolius* L.). *Euphytica* 176(1):49–58. doi:10.1007/s10681-010-0212-1
- Li X, Yang H, Yan G (2012) Development of a co-dominant DNA marker linked to the gene *lentus* conferring reduced pod shattering for marker-assisted selection in narrow-leafed lupin (*Lupinus angustifolius*) breeding. *Plant Breed* 131(4):540–544. doi:10.1111/j.1439-0523.2012.01978.x
- Nelson MN, Moolhuijzen PM, Boersma JG, Chudy M, Lesniewska K, Bellgard M, Oliver RP, Świącicki W, Wolko B, Cowling WA, Ellwood SR (2010) Aligning a new reference genetic map of *Lupinus angustifolius* with the genome sequence of the model legume, *Lotus japonicus*. *DNA Res* 17(2):73–83. doi:10.1093/dnares/dsq001
- Rudloff E (2011) EMS-induced mutants – a valuable genetic pool for the breeding of narrow-leafed sweet lupin (*Lupinus angustifolius* L.). In: Naganowska P, Kachlicki P, Wolko B (eds.) *Lupin crops: an opportunity for today, a promise for the future*. Proc 13th Int Lupin Conf, Poznań, Poland, 6 – 10 June 2011. International Lupin Association, pp. 92–98
- Ruge-Wehling B, Dieterich R, Thiele C, Eickmeyer F, Wehling P (2009) Resistance to anthracnose in narrow-leafed lupin (*Lupinus angustifolius* L.): sources of resistance and development of molecular markers. *J Kulturpfl* 61(2):62–65
- Rybiński W, Świącicki W, Bocianowski J, Börner A, Starzycka-Korbas E, Starzycki M (2018) Variability of fat content and fatty acids profiles in seeds of a Polish white lupin (*Lupinus albus* L.) collection. *Genet. Resour. Crop Evol.* 65:417-431
- Sengbusch R von (1931) Bitterstoffarme Lupinen II. *Der Züchter* 3(4):93-109
- Sengbusch R von (1938) Bitterstoffarme Lupinen III. *Der Züchter* 10(4):91-95
- Sengbusch R von, Zimmermann K (1937) Die Auffindung der ersten gelben und blauen Lupinen (*Lupinus luteus* und *Lupinus angustifolius*) mit nichtplatzenden Hülsen und die damit zusammenhängenden Probleme, insbesondere die der Süßlupinenzüchtung. *Der Züchter* 9(3):57–65
- Yang H, Boersma J, You M, Buirchell B, Sweetingham M (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.). *Mol Breed* 14(2):145–151. doi:10.1023/B:MOLB.0000038003.49638.97
- Zachow F (1967) Ein neues Gen für Alkalidarmut bei *Lupinus angustifolius*. *Der Züchter* 37(1):35-38

10. Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt, bisherige und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse

Die Ergebnisse des LupiBreed-Projektes wurden auf folgenden Tagungen/Veranstaltungen im Projektzeitraum vorgestellt:

LOHWASSER, U., T. KRANENBURG & A. BÖRNER: Influence of drought stress on seed quality of blue lupin (*Lupinus angustifolius* L.). Tagung AG Saatgut- und Sortenwesen der Gesellschaften für Pflanzenzüchtung und Pflanzenbauwissenschaften, Regensburg, 04.-05.04.2016. (Vortrag)

LOHWASSER U., T. KRANENBURG & A. BÖRNER: Influence of drought stress on seed quality of blue lupin (*Lupinus angustifolius* L.). Institutstag, IPK Gatersleben, 10. Oktober 2016. (Poster)

LOHWASSER, U.: Alte Hülsenfrüchte für neue Züchtungen? Wissenschaft, Gesellschaft und Praxis im Dialog: Hülsenfrüchte – ein altes Nahrungsmittel mit großer Zukunft? Vortrag und Podiumsdiskussion, Berlin, 28. Oktober 2016.

LOHWASSER, U. & A. BÖRNER: Blue lupin (*Lupinus angustifolius* L.) – An alternative for soybean? Eucarpia Genetic Resources 2017 “Crop diversification in a changing world“, Montpellier, France, 8-11 May 2017. (Poster)

LOHWASSER, U.: Screening von Genbankmaterial der blauen Lupine (*Lupinus angustifolius* L.) auf morphologische und agronomische Eigenschaften sowie Trockenstressresistenz. GFPi Sommertagung Abteilung Öl- und Eiweißpflanzen, Berlin, 31. Mai/1. Juni. (Vortrag)

LOHWASSER, U., M. KOTTER, R. DIETERICH, B. RUGE-WEHLING, G. JANSEN & A. BÖRNER: Blue lupin (*Lupinus angustifolius* L.) – An alternative for soybean? Institutstag, IPK Gatersleben, 9.-11.10.2017. (Poster)

LOHWASSER, U.: Screening von genetischen Ressourcen der Genbank Gatersleben zur Erweiterung der Sortenvielfalt bei Blauer Lupine. Vortragsveranstaltung der Gesellschaft zur Förderung der Lupine (GFL), Teltow/OT Ruhlsdorf, 17.01.2018. (Vortrag)

Weitere geplante Veranstaltungen:

LOHWASSER, U., R. DIETERICH, B. RUGE-WEHLING, G. JANSEN & A. BÖRNER: Blue lupin (*Lupinus angustifolius* L.) – A new source for vegan food? German Plant Breeding Conference, Wernigerode, Germany, 28.2.-2.3.2018. (Poster)

LOHWASSER, U., M. KOTTER & A. BÖRNER: Influence of drought stress on seed germination of blue lupin (*Lupinus angustifolius* L.). GPZ/GPW/VDLUFA Seed Symposium, Gatersleben, Germany, 10.-12.4.2018. (Vortrag)

11. Anhang

Deskriptor für *L. angustifolius* / Descriptor for *L. angustifolius*

Aussaatdatum – sowing date

Anzahl ausgesäter Samen – number of seeds

Aufgangsdatum – emerging date

Anzahl gekeimter Samen (%) – number of plants (%)

Homogenität – homogeneity

1 = vollkommen verschieden – completely heterogeneous

3 = etwas verschieden – slightly heterogeneous

5 = mittelmäßig gleichartig – moderate homogeneous

7 = sehr gleichartig – very homogeneous

9 = vollkommen gleichartig – completely homogeneous

Farbe der Blätter – colour of leaves

1= grün – green

2= blaugrün – glaucous

Stängel: Anthocyanfärbung vor dem Erscheinen der Knospen – stem: anthocyanin coloration prior to bud emergence

0= fehlend – absent

1= gering – weak

2= stark – strong

Wuchstyp – growth type

1= determiniert, begrenzt – determinate

2= nicht determiniert, unbegrenzt – indeterminate

Verzweigung – branching

1= keine Verzweigung – unbranched

2= verzweigt – branched

Blühbeginn – start of flowering

Farbe der Fahne – colour of standard

1= weiß – white

2= bläulichweiß – bluish white

3= blau – blue

4= violett – violet

5= rosa – pink

6= hellgelb – light yellow

7= dunkelgelb – dark yellow

Farbe der Flügel – colour of wings

- 1= weiß – white
- 2= bläulichweiß – bluish white
- 3= blau – blue
- 4= violett – violet
- 5= rosa – pink
- 6= hellgelb – light yellow
- 7= dunkelgelb – dark yellow

Anzahl der Blüten pro Hauptblütenstand – number of flowers per principal inflorescence

- 1= <20
- 2= 20 bis 40 – 20 to 40
- 3= >40

Länge Hauptblütenstand (cm) (Abb. 1) – Length of principal inflorescence (cm) (fig. 1)**Anzahl der Triebe mit Blütenstand – number of tillers with inflorescence**

- 1= 1-triebzig – 1 tiller
- 2= 2-triebzig – 2 tillers
- 3= 3- u. mehrtriebzig – 3 or more tillers

Pflanzenhöhe (zur Blütezeit) (cm) – plant height (at flowering time) (cm)**Blühende – end of flowering****Ansatzhöhe der 1. Hülse (cm) – height of first pod (cm)****Anzahl Hülsen pro Trieb – number of pods per tiller****Anzahl Hülsen pro Pflanze – number of pods per plant****Anzahl der Samen pro Hülse – number of seeds per pod****Zeitpunkt der Grünreife – time of green ripening**

- 1= früh – early
- 2= mittel – medium
- 3= spät – late

Pflanzenhöhe (zur Grünreife) (cm) – plant height (at green ripening) (cm)**Zeitpunkt der ersten reifen Hülsen – date of the first ripe pods****Aussehen der Hülsen bei der 1. Ernte – appearance of pods at the first harvest**

- 1= grün – green
- 2= 75% grün, 25% trocken – 75% green 25% dry
- 3= 50% grün, 50% trocken – 50% green 50% dry
- 4= 25% grün, 75% trocken – 25% green 75% dry
- 5= trocken – dry

Platzfestigkeit der Hülsen – pod shattering

- 1= platzfest (0% geplatze Hülsen) – non shattering (0% shattered pods)
- 3= 25% geplatze Hülsen – 25% shattered pods
- 5= 50% geplatze Hülsen – 50% shattered pods
- 7= 75% geplatze Hülsen – 75% shattered pods
- 9= alle Hülsen platzen (100% geplatze Hülsen) – complete shattering (100% shattered pods)

Hülsenlänge (cm) (5 Hülsen) – pod length (cm) (5 pods)**Hülsenbreite (cm) (5 Hülsen) – pod breadth (cm) (5 pods)****Krankheitsanfälligkeit (Anthraknose) – susceptibility to diseases (Anthracnose)**

- 1= fehlend, keine Symptome (0%) – absent, no symptoms (0%)
- 3= gering (1-5%) – little (1-5%)
- 5= mittel (6-25%) – middle (6-25%)
- 7= stark (26-50%) – strong (26-50%)
- 9= sehr starker Befall (51-100%) – very strong infestation (51-100%)

Erntebeginn – begin of harvest**Ernteende – end of harvest****Grundfarbe der Samen – seed primary colour**

- 1= weiß – white
- 1= beige – beige
- 2= braun – brown
- 3= grau – grey
- 4= schwarz – black

Ornamentierung der Samen – ornamentation of the seeds

- 0= fehlend – absent
- 1= vorhanden – present

Farbe der Ornamentierung – colour of ornamentation

- 1= beige – beige
- 2= braun – brown
- 3= grau – grey
- 4= schwarz – black
- 5= mehrfarbig – multicoloured

Verteilung der Ornamentierung (Abb. 2) – distribution of ornamentation (fig. 2)

- 1= gesamt – total
- 2= gesamt außer Sichel – total except eyebrow
- 3= dorsal – dorsal
- 4= ventral – ventral
- 5= nur Sichel – eyebrow only

Dichte der Ornamentierung (Abb. 3) – density of ornamentation (fig. 3)

1= locker – sparse

2= mittel – medium

3= dicht – dense

4= sehr dicht – very dense

Ertrag pro Pflanze – yield per plant

TKM – 1000 grain weight

Samenlänge – seed length

Samenbreite – seed breadth

Samenfläche – seed area

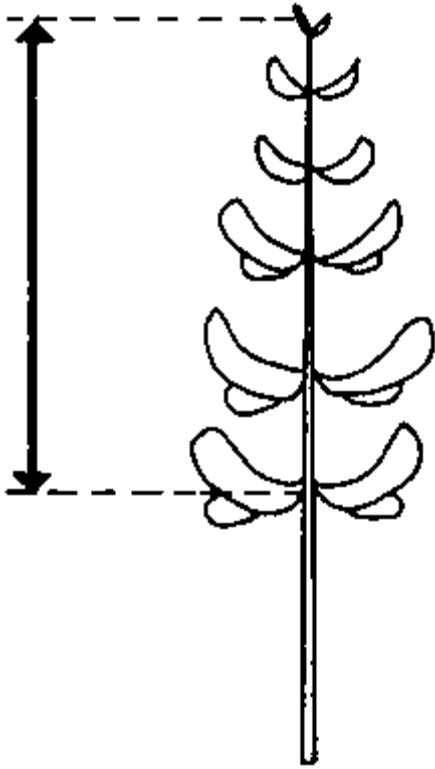


Abb. 1: Länge Hauptblütenstand – fig. 1: Length of principal inflorescence

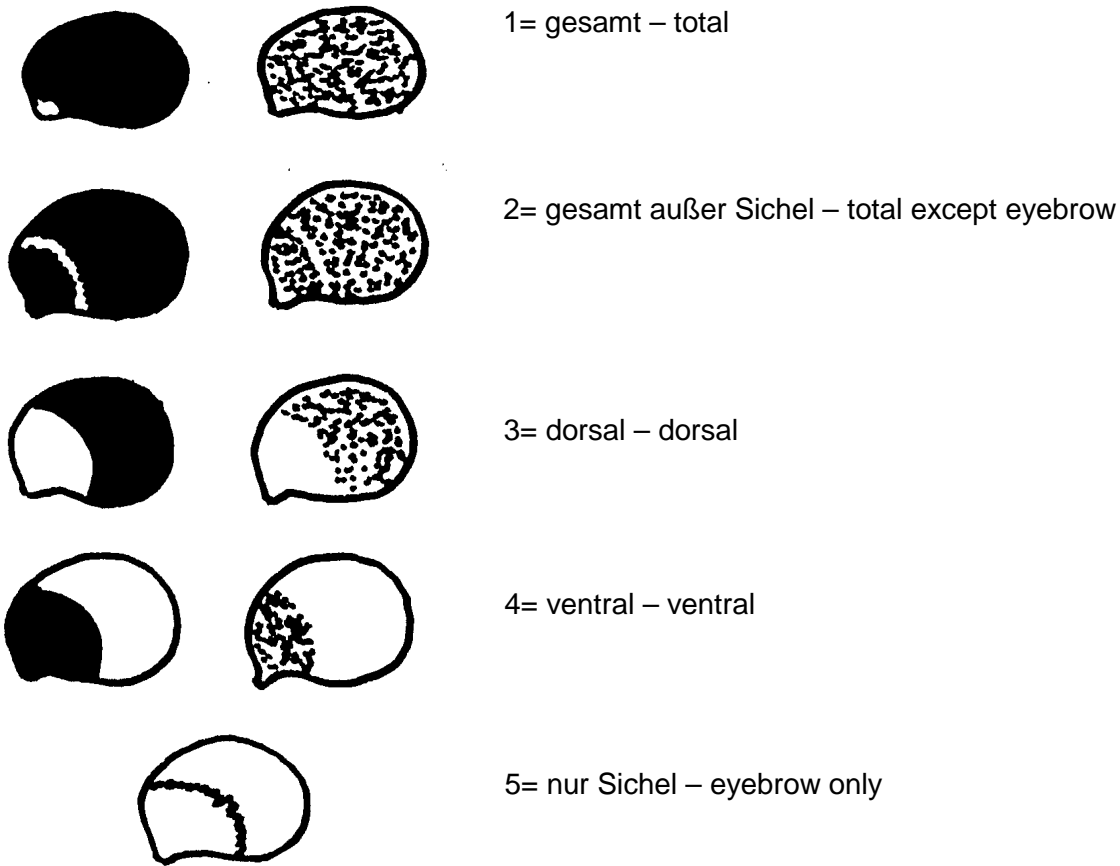


Abb. 2: Verteilung der Ornamentierung – fig. 2: distribution of ornamentation

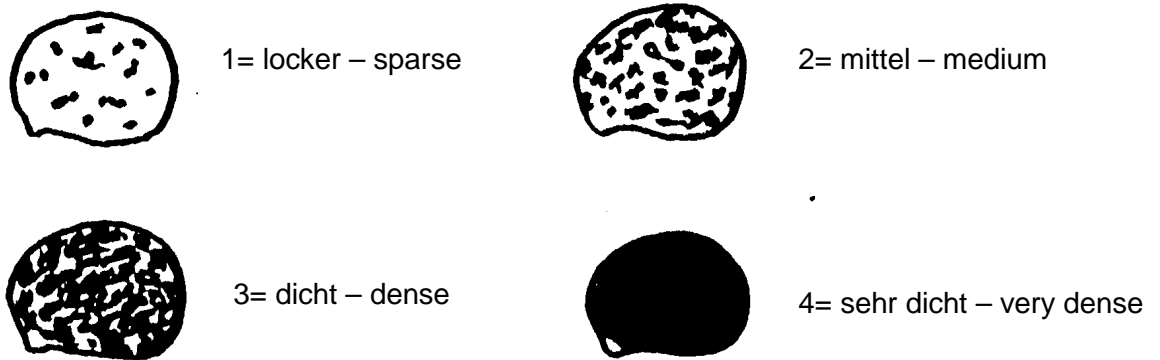


Abb. 3: Dichte der Ornamentierung – fig. 3: density of ornamentation