



Rheinland-Pfalz

MINISTERIUM FÜR
WIRTSCHAFT, VERKEHR,
LANDWIRTSCHAFT
UND WEINBAU



„Lupi-Hirse-Huhn“

Alternative Kulturen für die pflanzenbauliche Anpassung
an den Klimawandel und Verbesserung der regionalen
Wertschöpfung durch neue Fütterungsstrategien in der
Geflügelhaltung

Abschlussbericht

Maria Rosenhauer, Jan Petersen, Petra Harig, Georg Dusel

21.06.2023



Europäischer Landwirtschaftsfonds für
die Entwicklung des ländlichen Raums:
Hier investiert Europa
in die ländlichen Gebiete.



Impressum

Hauptverantwortlicher der OG

Organisation: Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz
Ansprechpartner: Isabelle Sando
Straße: Burgenlandstraße 7
Ort: 55543 Bad Kreuznach
Tel.: 0671-793 159
E-Mail: isabelle.sando@lwk-rlp.de

Für die Förderung zuständiges Ministerium

Ministerium für Wirtschaft, Verkehr,
Landwirtschaft und Weinbau
Referate 8607 und 8608
Stiftstraße 9
55116 Mainz
E-Mail: eulle@mwwlw.rlp.de
Internet: www.eler-eulle.rlp.de

Inhalt

1	Vorhabenplanung.....	5
1.1	Erläuterung der Situation zu Vorhabenbeginn.....	5
1.2	Aufgabenstellung und Zielformulierung des Vorhabens.....	5
1.3	Arbeitsplan	5
2	Verlauf des Vorhabens	9
3	Ergebnisse und Zielerreichung	11
3.1	Arbeitspaket 1 und 2: Pflanzenbau (TH-Bingen) und Anbauversuche bei den Landwirten der OG	11
3.2	Arbeitspaket 3 und 4: Tierernährung (TH Bingen)	50
	A. Leistungs- und Verdaulichkeitsstudie 1: Auswirkungen eines stufenweisen Austauschs von Mais/Soja durch Hirse/Lupine.....	50
	B. Leistungsstudie 2: Substitution von Mais durch Hirse und Soja durch Weiße Lupinen (1)	66
	C. Leistungsstudie 3: Substitution von Mais durch Hirse und Soja durch Weiße Lupinen (2)	74
	D. Leistungsstudie 4: Abgestufter Alkaloidgehalt in Broilerrationen	80
	E. Leistungsstudie 5: Alternative Eiweißfuttermittel in der Broilerfütterung	1
	F. Leistungsstudie 6: Legehennen-Fütterung: Alternative Eiweißkomponenten für Sojaextraktionsschrot	8
3.3	Haupt- und Nebenergebnisse des Vorhabens.....	13
3.4	Beitrag der Ergebnisse zu den förderpolitischen Zielen.....	13
3.5	Erreichung der Ziele des Vorhabens.....	14
3.6	Nutzen der Ergebnisse für die Praxis.....	15
3.7	(Geplante) Verwertung/Verbreitung und Nutzung der Ergebnisse	15
3.8	Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit	16
4	Zusammenarbeit in der Operationellen Gruppe (OG)	17
4.1	Gestaltung der Zusammenarbeit.....	17
4.2	Mehrwert des Formats einer OG	17
4.3	Weitere Zusammenarbeit	17
5	Verwendung der Zuwendung.....	18
6	Schlussfolgerungen und Ausblick	18
7	Anhang: Veröffentlichungen	20
8	Literaturverzeichnis	29

Zusammenfassung / Abstract

Alternative Kulturen für die pflanzenbauliche Anpassung an den Klimawandel und Verbesserung der regionalen Wertschöpfung durch neue Fütterungsstrategien in der Geflügelhaltung

Die Weiße Lupine besitzt einen hohen Rohproteingehalt von 32 – 38 % (i.d. TM) und ist eine interessante heimische Alternative zu Sojabohne im Futtermittel. Durch die gestiegene Nachfrage an GVO-freien und regionalen Produkten werden der Anbau und die Verfütterung von Weißer Lupine in Rheinland-Pfalz interessant. Weiter erfordern die klimatischen Veränderungen eine Anpassung der Kulturen im Pflanzenbau. Eine Möglichkeit auf mehr Trockenheit und Hitze zu reagieren ist der Anbau von Körnerhirse (*Sorghum bicolor*), die anstelle von Mais in Geflügelfutter verwendet werden kann. Für den Anbau der beiden Kulturen Weiße Lupine und Körnerhirse wird mehr Wissen bezüglich der Anbaueignung und –technik benötigt. Weiter fehlen Informationen für die Verfütterung. Um diese Lücken zu schließen wurden sowohl Anbau- wie auch Fütterungsversuche im Rahmen des dreijährigen EIP-Projekts „Lupi-Hirse-Huhn“ durchgeführt.

Ertragsstabile, anthraknosetolerante Weiße Lupine Sorten sind: „Celina“ und „Frieda“. Das Ertragsniveau variierte zwischen den Umwelten (Standort x Jahr). Auf Standorten mit freiem Kalk im Boden ist die Kultivierung von Weißen Lupinen nicht möglich. Die Alkaloidgehalte im Samen erwiesen sich als sorten- und umweltabhängig. Die Schwankungen können sehr hoch sein. Die Alkaloidgehalte der Sorten „Celina“ und „Frieda“ überschritten zumeist dem empfohlenen Wert von 0,04 % für Futtermittel. Die nicht anthraknosetolerante „alte“ Sorte „Amiga“ wies stets Alkaloidgehalte <0,04 % auf.

Für den Anbau von Sorghumhirse sind vor allem die Saatbettbereitung und der Bodenschluss der Samen für die erfolgreiche Etablierung des Bestandes wichtig. Frühreife und ertragsstarke Sorten sind: „RGT Dodge“, „Arsky“ und „Arabesk“ mit einem Kornertrag von ca. 60 bis 85 dt/ha. Die Kornfeuchte bei frühen Sorten lag zwischen 14 und 19 %. Ein Nachtrocknen des Erntegutes ist zumeist notwendig.

Geflügelfutterration mit mehr als 15 % Weiße Lupinen führten zu einer stark verminderten Futteraufnahme und geringeren Gewichtszunahme. Bei der Fütterung Weißer Lupinen mit unterschiedlichen Alkaloidgehalten mit 15%iger Dosierung im Futter ließen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Lupinensorten mit unterschiedlichen Alkaloidgehalten erkennen.

Der Einsatz von Sorghumhirse im Geflügelfutter beeinflusste die Futteraufnahmen, Tiergesundheit und Tierleistung unabhängig der Einsatzrate (bis 50% der Ration) im Vergleich zu Körnermais nicht.

Alternative crops for adaptation to climate change and improvement of regional added value through new feeding strategies in poultry farming

White lupine has a high protein content of 32 – 38% (of DM) and is an interesting regional alternative to soybean in feed. Due to the increased demand for GMO-free and regional products, the cultivation and feeding of White Lupine in Rhineland-Palatinate is becoming interesting. Furthermore, climatic changes require an adaptation of crops in crop production. One way to react to more drought and heat is to grow grain millet (*Sorghum bicolor*), which can be used instead of corn in poultry feed.

For the cultivation of the two crops white lupine and grain millet, more knowledge is needed regarding the suitability and technique of cultivation. Furthermore, there was a lack of information for feeding. In order to close these gaps, both cultivation and feeding trials were carried out as part of the three-year EIP project "Lupi-Hirse-Huhn".

Yield-stable, anthracnose-tolerant white lupine cultivars are: "Celina" and "Frieda." Yield levels varied among environments (site x year). Cultivation of White Lupine is not possible on sites with free lime in the soil. Alkaloid levels in seed were found to be variety and environment dependent. Variations can be very high. The alkaloid contents of the varieties "Celina" and "Frieda" mostly exceeded the recommended value of 0.04% for feed. The non-anthracnose tolerant "old" variety "Amiga" always showed alkaloid contents <0.04%.

For Sorghum cultivation, seedbed preparation and soil closure of the seeds are most important for successful establishment of the crop. Early maturing and high yielding varieties are: "RGT Doddge", "Arsky" and "Arabesk" with grain yields of about 60 to 85 dt/ha. Grain moisture in early varieties ranged from 14 to 19%. Post-drying of the crop is mostly necessary.

Over 15% White Lupines in the poultry feed ration resulted in greatly reduced feed intake and lower weight gain. When feeding White Lupines with 15% dosage in the feed, but with different alkaloid contents, no significant differences between the lupine varieties with different alkaloid contents could be detected.

The use of Sorghum grain in poultry diets did not affect feed intakes, animal health and animal performance, regardless of the rate of use (up to 50% of the ration) compared to grain maize.

1 Vorhabenplanung

1.1 Erläuterung der Situation zu Vorhabenbeginn

Ausgangssituation und Problembeschreibung

Der Klimawandel zwingt die Landwirte bereits heute in trocken warmen Gebieten über Anpassungsstrategien im Pflanzenbau nachzudenken. Eine wichtige Frage ist, welche Kulturen könnten in bestehende Fruchtfolgen aufgenommen werden, um die Systeme resilienter zu gestalten. Sorghumhirse ist aufgrund höherer Trockenheitstoleranz eine solche Kultur. Ferner steigt die Nachfrage nach regionalen, gentechnikfreien Produkten. Für Tierhalter, wie Geflügelbetriebe, stellt sich die Frage der adäquaten Tierernährung ohne gentechnisch veränderte Sojabohnen einsetzen zu müssen. Eine einheimische Leguminose, die auf dem eigenen Betrieb angebaut werden und Soja substituieren kann, wäre wünschenswert. Durch die Neuzüchtung anthraknose-toleranter Sorten könnte die Weiße Lupine aufgrund ihrer hohen Rohproteingehalte eine Pflanze sein, die diese Anforderungen erfüllen könnte. Da weder die Weiße Lupine, noch die Sorghumhirse in nennenswerten Umfang in Rheinland-Pfalz (und auch sonst in Deutschland) kultiviert werden, fehlen Informationen, wie ein erfolgreicher Anbau zu gestalten ist, und welche Potentiale die Pflanzen bieten. Da es derzeit keine nennenswerten Märkte für die beiden Kulturen gibt, ist eine betriebsinterne Verwertung sinnvoll. Hierfür fehlen die Basisinformationen, in welchen Formen und Anteilen Hirse und Weiße Lupine in der Geflügelfütterung einsetzbar sind.

1.2 Aufgabenstellung und Zielformulierung des Vorhabens

Die Aufgabe des Projekts war es, in Feldversuchen an verschiedenen Standorten in Rheinland-Pfalz Weiße Lupinen und Sorghumhirse anzubauen und dabei die Anbaueignung, Erträge und Qualitäten in Abhängigkeit des Standortes und der geprüften agronomischen Parameter zu untersuchen und zu bewerten. Die Verdaulichkeit von Sorghum und Lupine wurde durch Fütterungsstudien an Masthähnchen ermittelt. Darauf basierend wurden Fütterungsrationen abgeleitet, die dann in den landwirtschaftlichen Betrieben der OG im Vergleich zu Standardfuttermischungen geprüft werden sollten.

Ziel des Projektes war es, mit Sorghumhirse und Weißer Lupine zwei neue Kulturarten für den rheinland-pfälzischen Ackerbau zu etablieren und die Ernteprodukte zunächst in der Geflügelfütterung zur Stärkung der regionalen Produktion und Wertschöpfung zu verwerten. Es wurden Sorten geprüft und wirksame wie nachhaltige Pflanzenschutz- und Anbauverfahren für die Weiße Lupine und die Sorghumhirse für den ökologischen und konventionellen Landbau erarbeitet. Die Möglichkeiten und Grenzen des Anbaus der neuen Kulturen in Rheinland-Pfalz wurden verifiziert und somit der Wissensstand über diese Kulturen erweitert. Auf diese Weise kann durch Sorghumhirse ein Beitrag zu einem klimaangepassten Ackerbau und durch Weiße Lupine zur heimischen Eiweißversorgung, also einer nachhaltigen, gentechnikfreien und ressourcenschonenden Landwirtschaft geleistet werden. Die gewonnenen Erkenntnisse über den Anbau und die Nutzung von Weißer Lupine und Sorghumhirse werden für die Praxis bereitgestellt.

1.3 Arbeitsplan

Arbeitspaket 1: Pflanzenbau (TH-Bingen)

Alle Feldversuche wurden als randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen in Kleinparzellen angelegt. Die Aussaaten erfolgten mit einer Parzellensämaschine, geerntet wurde mit dem Parzellenmähdrescher. Die Ernte wurde getrocknet und gereinigt. Die Bewässerung erfolgte über Tropfschläuche. Die Herbizid- und Wachstumsreglerbehandlungen wurden mit einer

Versuchsfeldspritze mit 2,5 m Arbeitsbreite appliziert, welche 200 l/ha Spritzbrühe mit 2,1 bar Druck und einer Geschwindigkeit von 5 km/h aus Airmix 120-025 Düsen ausbrachte. Die Bewässerung erfolgte über Tropfschläuche. Geerntet wurde mit einem Parzellenmähdrescher. Die Pflanzendichte wurde bei Drillsaat durch dreimaliges Zählen eines 0,25 m² Zählrahmens je Parzelle erfasst. Bei der Einzelkornsaat wurden je Parzelle dreimal 2,0 m Reihe ausgezählt. Die Höhenmessungen erfolgten an zehn Pflanzen je Parzelle.

Entwicklung/Optimierung von Anbauverfahren von Weißer Lupine (*Lupinus albus L.*)

a) Prüfung verschiedener Genotypen von Weißer Lupinen auf verschiedenen Höhenlagen

Um die Anbaueignung der Weißen Lupine zu beleuchten, wurde an den Standorten Bingen (TH) und Waldalgesheim je Standort und Jahr ein Sortenversuch mit acht verschiedenen Weiße Lupine Sorten durchgeführt („Amiga“, „Celina“, „Feodora“, „Frieda“, „Dieta“, „Nelly“, „Boros“ und „Victor Baer“). In Bingen wurde weiter der Einfluss von Bewässerung geprüft. In den ersten beiden Projektjahren wurde auch in Wörrstadt ein Sortenversuch angelegt. Dieser Standort erwies sich jedoch als ungeeignet. Die Aussaat erfolgte als Drillsaat mit einer Saatstärke von 75 Körner/m². Erfasst wurden die Pflanzendichte, die Pflanzenhöhe, Anzahl Hülsen, Körner/Hülse die Bestandentwicklung sowie der Kornertrag, die Kornfeuchte und das Tausendkorngewicht.

b) Anbautechnik Weiße Lupine

Standraumversuch

Da die Angaben zu den empfohlenen Aussaatstärken und Aussaatverfahren variieren wurde ein Standraumversuch am Standort Bingen in drei Anbaujahren durchgeführt. Getestet wurden fünf Saatstärken im Drillsaatverfahren (30, 45, 60, 75 und 90 Körner/m²) sowie zwei Saatstärken im Einzelkornverfahren (29,4 und 44 Körner/m²). Erhoben wurden die Pflanzendichte, die Pflanzenhöhe, der Kornertrag, die Kornfeuchte und das Tausendkorngewicht.

Unkrautregulierung

Am Standort Bingen (TH) wurden in allen drei Projektjahren Herbizidversuche in der Weißen Lupine durchgeführt. Erfasst wurden sowohl die Kulturverträglichkeit wie auch die Wirksamkeit der eingesetzten Präparate. Die Versuchspläne wurden jährlich auf Basis der erzielten Ergebnisse angepasst (unverträgliche Präparate wurden ersetzt). Weiter fand die Herbizidauswahl in Abstimmung mit Ringversuchen im Rahmen der Zulassungserweiterung statt. Die rein mechanische Unkrautregulierung wurde in einem getrennten Versuch 2021 und 2022 untersucht. Dabei wurde der ein- und zweimalige Hackmaschineneinsatz (2021) sowie das zusätzliche Blindstriegeln (2022) getestet. Erhoben wurden jeweils die Pflanzendichte, die Kulturverträglichkeit und die Wirksamkeit anhand des Unkrautdeckungsgrades zwei und vier Wochen nach der Behandlung. Weiter wurde der Kornertrag und die Kornfeuchte erfasst.

Wachstumsregler Versuch

Inwieweit der Einsatz von Wachstumsreglern in der Weißen Lupine notwendig ist, um Lagerbildung bei sehr kopflastigen Pflanzen zu vermeiden und welche Wachstumsregler verträglich sowie wirksam sind, wurde in einem weiteren Versuch über alle drei Projektjahre auf dem bewässerten Standort in Bingen geprüft. Fünf Wachstumsregler Varianten kamen zum Einsatz (Caramba 0,75 l/ha, Caramba 1,5 l/ha, Caramba 0,75 + ,75 l/ha, Toprex 0,5 l/ha und Carax 1,4 l/ha). Bonitiert wurden die Pflanzenhöhe, die Lagerbildung, der Kornertrag und die Kornfeuchte.

Bor-Düngungsversuch

Der Einfluss fünf verschiedener Bor-Düngungsvarianten auf den Kornertrag der Weißen Lupine wurde in den Jahren 2021 und 2022 geprüft.

c) Alkaloidanalysen

Vier ausgewählte Sorten („Amiga“, „Celina“, „Frieda“ und „Victor Baer“ wurden jedes Jahr auf ihren Alkaloidgehalt hin analysiert. Beprobte wurden jeweils alle Standorte (Bingen mit und ohne Bewässerung, Waldalgesheim und Wörrstadt). Weiter wurde der Einfluss des Bodens auf den Alkaloidgehalt 2021 und 2022 mit gesonderten Gefäßversuchen und der Sorte „Celina“ in Bingen geprüft.

Entwicklung/Optimierung von Anbauverfahren von Körnerhirse (*Sorghum bicolor* L.)

a) Sorghum-Sorten/Höhenlage

Auch für Sorghum stehen bisher nicht ausreichend Informationen für den heimischen Anbau zur Verfügung. Weiter erweist sich der Wärmebedarf von Sorghum als interessanter Untersuchungspunkt. Der Anbau entlang eines Höhengradienten ergab unterschiedlichen Wärmesummen an den Standorten und damit die Möglichkeit, Gebiete einzugrenzen, die für den Sorghumanbau in Rheinland-Pfalz in Frage kommen. Hierfür wurde jeweils ein Sortenversuch an den Standorten Bingen (88 m ü. N.N), Wörrstadt (210 m ü. N.N) und Waldalgesheim (280 m ü. N.N) in allen drei Projektjahren angelegt. Die Beerntung in Wörrstadt entfiel aufgrund schlechter Bestandsentwicklung. Untersucht wurden jeweils bis zu 20 Sorghumsorten, die als frühreif und niedrig wachsend galten. Diese waren zum Teil in der Sortenprüfung bzw. -entwicklung oder Sorten mit Zulassung und Vermarktung. Die Sorten variierten zwischen den Jahren in Abhängigkeit der von den Züchtern zur Verfügung gestellten Sortenmuster (siehe Tab. 1). Insgesamt 16 Sorten wurden während der Projektlaufzeit mehrfach geprüft. Erhoben wurden die Pflanzendichte, die Pflanzenhöhe, die Bestandsentwicklung, die Anzahl Ripsen, der Kornertrag, die Kornfeuchte und das Tausendkorngewicht.

Tab. 1: Liste der Sorghumsorten aus den Versuchen 2020 bis 2022

Sorte	Jahr			Sorte	Jahr		
	2020	2021	2022		2020	2021	2022
Lupus KWS	-	x	x	Oggana	x	x	-
Capello CS	x	x	-	RGT Belluga	x	x	-
Diabolo	x	x	x	Arabesk	x	x	-
Farmsugro180	-	x	x	ES Willy	-	x	x
RGT Doddge	x	x	x	ASM-CN-S1	-	x	-
RGT Icebergg	x	x	x	Arigato	-	-	x
Arsky	x	x	x	SO KSHOG50R	-	-	x
GK Emese	x	x	x	RGT Huggo	-	-	x
Albanus	x	x	x	STH20003	-	-	x
STH18037	-	x	-	Sorghum Panat	-	-	x
STH20005	-	x	-	ASM-DS-D1	-	-	x
Coppertop	-	x	x	ASM-DS-R1	-	-	x
Iggloo	x	x	-				

b) Sorghum-Hirse Anbautechnik

Standraum Versuch

Am Standort Bingen wurden 4 Drillsaat-Varianten (25, 30, 37,7 und 43 Körner/m²) sowie zwei Einzelkornsaat-Varianten (30 und 37,7 Körner/m²) mit jeweils 25 und 50 cm Reihenabstand geprüft. Die Pflanzendichte, die Pflanzenhöhe, die Anzahl Rispen, der Kornertrag, die Kornfeuchte und das Tausendkorngewicht wurden erhoben.

N-Düngung

Der Einfluss von fünf N-Düngungsstufen (100, 125, 150, 175 und 200 kg N/ha) auf den Sorghum Ertrag wurde am Standort Bingen in allen drei Projektjahren geprüft. Erhoben wurden der Kornertrag und die Kornfeuchte.

Unkrautregulierung

Die chemische und mechanische Unkrautregulierung in Sorghum wurden in allen drei Projektjahren am Standort Bingen und Waldalgesheim untersucht. Dabei wurden die Varianten jährlich auf Grundlage ihrer Verträglichkeit und Wirksamkeit angepasst. Die meisten im ersten Jahr untersuchten Herbizidvarianten erwiesen sich als Kultur schädigend und wurden nicht weiter untersucht. 2021 und 2022 wurden 15 bzw. elf Varianten geprüft, aus denen sich Empfehlungen für die Praxis ableiten lassen. Auch die rein mechanische Unkrautregulierung durch ein- oder zweimaliges Hacken wurde beprobt. Erhoben wurde jeweils die Pflanzendichte, die Kulturverträglichkeit und Wirksamkeit (Unkrautdeckungsgrad) zwei und vier Wochen nach der Behandlung, die Anzahl Rispen sowie der Kornertrag und die Kornfeuchte.

Arbeitspaket 2: Anbauversuche bei den Landwirten

Neben den Versuchen auf den Versuchsflächen der TH Bingen wurden Anbauversuche bei den beteiligten Landwirten vor Ort in den verschiedenen Regionen durchgeführt, um den Anbau der beiden „neuen“ Kulturen unter Praxisbedingungen zu prüfen. Weiße Lupine wurde in Biebern (Hunsrück, 400 m ü. N.N) in allen drei Projektjahren erfolgreich auf Flächen in Biebern angebaut. Der Praxisanbau in Wörrstadt wurde im ersten und zweiten Projektjahr versucht. Jedoch erwies sich der Standort aufgrund der Bodenverhältnisse als ungeeignet und eine Ernte war in 2020 zwar möglich, aber gering. In 2021 traten Kalkchlorsen in starkem Umfang auf, so dass die Pflanzen fast vollständig ausfielen. Im dritten Versuchsjahr wurde daher auf den Anbau in Wörrstadt verzichtet. Sorghum wurde in 2020 und 2021 auf Flächen in Kleinwinternheim angebaut, eine Ernte wurde aufgrund unzureichenden Feldaufganges bzw. starkem Unkrautdruckes nicht erzielt. Auf den Flächen in Wörrstadt gelang keine ausreichende Bestandsentwicklung Trotz Anpassungen konnten keine zufriedenstellenden Sorghumdichten erreicht werden. Sorghum konnte daher nur im Jahr 2021 beerntet werden.

Arbeitspaket 3: Untersuchung von nutritiven und anti-nutritiven Eigenschaften von Weißen Lupinen und *Sorghum bicolor* Sorten (Tierernährung TH Bingen)

Damit das Erntegut verfüttert werden kann, wurden problematische (anti-nutritive) Inhaltsstoffe analytisch quantifiziert. Darum wurden aus ausgewählten pflanzenbaulichen Versuchen Proben entnommen, um qualitative Analysen durchzuführen. In Screening-Versuchen wurde der Einfluss von Sorte, Standort und Anbaujahr (Wetter) auf die futterrelevanten Inhaltsstoffe beim Geflügel getestet. Sortenreine Futtermischungen wurden auf die Energie- und Nährstoffverdaulichkeit untersucht und der Effekt von anti-nutritiven Inhaltsstoffen bestimmt. Bei Lupinen handelte es sich dabei vornehmlich um den Anteil von Alkaloiden, die maßgeblich bestimmen, wie viel Lupinen im Futter beigemischt werden dürfen. Die Richtwerte für den Alkaloidgehalt für die tierische Ernährung beträgt <0,05 % für

futtertaugliche Lupinen. Es wurden Konzentrationsversuche (Dose-Response-Untersuchungen) durchgeführt, um maximale Einsatzbegrenzungen von weißen Lupinen festzulegen.

Für Sorghum stellen potentiell Fusarien- und Alternariatoxine eine Gefahr für die Tierernährung dar, die bemessen werden muss. Etwaige Standort- und Sortenunterschiede können genutzt werden, um Empfehlungen für die Praxis abzuleiten. Sorghum ist in Geflügelrationen in hohen Mengen vorstellbar. Es wurde in tierexperimentellen Ansätzen versucht den Körnermais komplett durch den Einsatz von Sorghum zu ersetzen.

Arbeitspaket 4: Tierernährung

- a) Verdaulichkeitsexperimente zur Prüfung unterschiedlicher Futtrationen (mit signifikanten Anteilen Lupinen und Hirse) bei Geflügel, an der TH Bingen. In den Futtrationen wurden GMO-Soja und Körnermaisgehalte stufenweise durch Weiße Lupine und Sorghum substituiert. In diesen Untersuchungen wurden Sorten, Standort und Anbaujahreseffekte dokumentiert.
- b) Prüfung von Futtrationen bei Legehennen und Mastgeflügel in den Praxisbetrieben. Aus den Ergebnissen des Arbeitspaketes 4a, wurden praxisübliche Rationen für Legehennen und Mastgeflügel mit maximalen Einsatzmengen von Weißer Lupine und Sorghumhirse kalkuliert.

Arbeitspaket 5: Wissensvermittlung/ Transferstrategien zur Umsetzung der Ergebnisse (alle)

Neben der Mitarbeit im EIP Netzwerk wurden alle Beteiligten des Projektes, Praktiker wie Wissenschaftler durch eine gemeinsame jährliche Veranstaltung das erworbene Wissen und die gesammelten Erfahrungswerte zu dem Anbau und der Nutzung von *Lupinus albus* und *Sorghum bicolor* sowie in Beraterkreisen (z.B. DLR Pflanzenbauseminar; Ausschuss Futter/Fütterung der Bundesländer RLP, Hessen, Saarland) und Fachtagungen (z.B. Pflanzenbautagung, ...) weitergeben. Die fachübergreifende Zusammenarbeit der verschiedenen Institutionen aus den Bereichen Pflanzenbau und Tierernährung bieten hierfür den erforderlichen Rahmen. Die Ergebnisse sind in Vorträge, Beratung, Seminaren, der Ausbildung (Berufs- und Fachschulunterricht, Vorlesungen im Studiengang Agrarwirtschaft) eingeflossen.

Ferner wurde ein gemeinsamer Feldtag von den Projektbeteiligten durchgeführt, um interessierten Landwirten den Anbau beider Kulturen zu demonstrieren und die Chance und Risiken zu diskutieren. Die Teilnahme an nationalen und internationalen Fachtagungen erschloss eine breite Zuhörerschaft. Weiter wurden die wissenschaftlichen Ergebnisse durch Veröffentlichungen in der Fachpresse und in internationalen Fachjournalen zur Verfügung gestellt.

2 Verlauf des Vorhabens

Alle unter Arbeitspakete 1 aufgeführten pflanzenbaulichen Untersuchungen fanden im Rahmen des Projektes wie geplant statt. Einzelne Abweichungen ergaben sich durch die Anpassung der Versuchsvarianten. Weiter entfiel wie oben ausgeführt der Standort Wörrstadt im dritten Jahr für den Anbau der Weißen Lupine. Die Testung der Sorghum Sorten entfiel 2021 auf dem Standort Waldalgesheim, weil hier ein Spätfrost auftrat. Auch der Herbizidversuch erfror in diesem Jahr am Standort Waldalgesheim. Es gelang weiter nicht, in Wörrstadt ausreichend dichte Sorghum-Bestände zu etablieren, sodass keine Beerntung an diesem Standort stattfand. Gründe für die unzureichende Bestandsentwicklung scheinen in der Saatbettbereitung zu liegen. Im ersten Jahr war die Bodenlockerung zu tief, so dass kein ausreichender Bodenschluss für die Samen gegeben war. Im zweiten Jahr erschwerte das lange kalte und nasse Frühjahr die Aussaat und 2022 war wiederum die

Bodentrockenheit zur Aussaat zu hoch. Es wurde deutlich, dass die Saatbettbereitung für Sorghum schwierig ist und etwas Erfahrung braucht.

Der Praxisanbau (aufgeführt in Arbeitspaket 2) fand nicht vollumfänglich wie geplant auf den jeweiligen Betrieben statt. Der Anbau von Weißer Lupine und Sorghum auf dem Betrieb in Kleinwinternheim unter ökologischen Landbaubedingungen erwies sich aufgrund des massiven Unkrautdruckes und der Trockenheit als nicht erfolgreich umsetzbar. Der Standort Wörrstadt war für die Weiße Lupine aufgrund des Gehaltes vom freien Kalk im Boden ungeeignet. Durch die gewonnenen Erfahrungen reduzierte sich im Verlauf des Projektes der Praxisanbau von Weißer Lupinen von ursprünglich vier Standorten auf zwei und bei Sorghum von drei auf zwei Standorte.

Die in Arbeitspaket 3 geschilderte Prüfung auf nutritive und antinutritive Substanzen der Weißen Lupine fand wie geplant statt. Die futterrelevanten und analytische Inhaltsstoffe (Alkaloide) wurden untersucht und wie beschrieben auf ihre Effekte auf die Leistungs- und Verdaulichkeitsparameter beim Geflügel untersucht.

Die unter Arbeitspaket 4 geschilderten tierexperimentellen Untersuchungen fanden wie geplant statt. Im Rahmen dieses Teilprojektes wurden Leistungs- und Verdaulichkeitsstudien zur Prüfung unterschiedlicher Futterrationen (mit signifikanten Anteilen an Lupine und Hirse) beim Geflügel durchgeführt. Dafür wurde zunächst ein stufenweiser Austausch einer Mais/Soja- gegenüber einer Hirse/Lupine-basierten Futterration auf die Wachstumsleistung sowie die Energie- und Nährstoffverdaulichkeit bei Masthühnern untersucht (A). Im Anschluss wurden die Substitutionsmöglichkeiten von Mais durch Sorghum und Soja durch Lupine (B), sowie Mais durch Sorghum und Soja durch 15 – 20 % Lupine (C) auf die Leistungsparametern von Masthühnern getestet. Des Weiteren wurde ein abgestufter Alkaloidgehalt in der Futterration von Masthühnern und deren Auswirkungen auf die Leistungsparametern untersucht (D). In den Praxisbetrieben wurde der Einsatz alternativer Eiweißträger bei Masthühnern (E) und Legenennen (F) erforscht.

3 Ergebnisse und Zielerreichung

3.1 Arbeitspaket 1 und 2: Pflanzenbau (TH-Bingen) und Anbauversuche bei den Landwirten der OG

Im Folgenden werden die Ergebnisse der gesamten Projektlaufzeit aufgeführt. Die drei Projektjahre unterschieden sich hinsichtlich ihrer Witterung. In Abbildung 1 + 2 sind die Jahrestemperaturen und Niederschlagssummen des Standorts Bingen (Daten: Wetterstation Bingen Gauslsheim) im Vergleich zum langjährigen Mittel (9,9 °C) aufgeführt. Die Jahre 2020 und 2022 lagen mit durchschnittlich 12,1 °C deutlich über der langjährigen Durchschnittstemperatur von 9,9 °C.

Die Niederschlagssummen zeigten für alle drei Projektjahre Wasserdefizite. Diese waren 2020 mit gut 200 mm am höchsten. In den Jahren 2021 und 2022 lagen die Defizite noch bei knapp 70 bzw. 50 mm. Der Projektzeitraum bildete folglich die zunehmenden warm-trockenen Bedingungen in Rheinland-Pfalz gut ab.

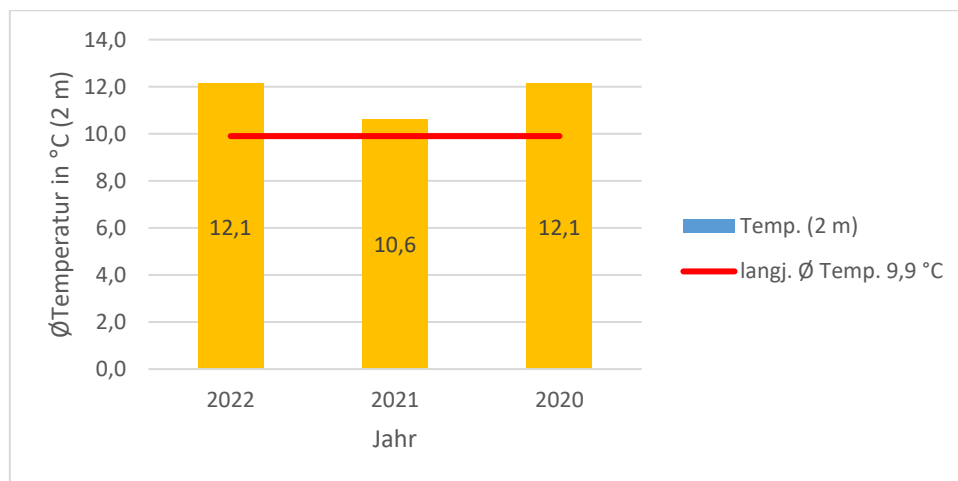


Abb. 1: Durchschnittliche Temperaturen in °C (2 m Höhe) nach Jahr im Vergleich zum langjährigen Mittel, am Standort Bingen Gauslsheim

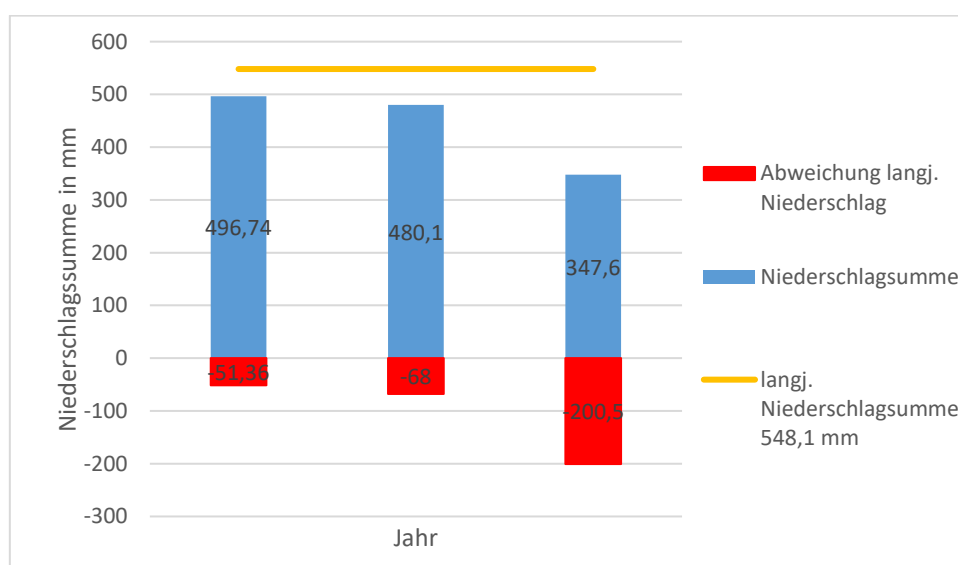


Abb. 2: Niederschlagssummen in mm, Niederschlagsdefizit im Vergleich zum langjährigen Mittel nach Jahr, am Standort Bingen Gauslsheim

Ergebnisse der Weißen Lupine

Alle Feldversuche wurden als randomisierte Blockanlage als Kleinparzellenversuche mit vierfacher Wiederholung durchgeführt (Abb. 3 und 4). Die Parzellengröße betrug dabei 2,5 x 8,0 m (=22,5 m²) mit 2,0 m Weg zwischen den Parzellen und einer Kernbeerntungsfläche von 12 m² (1,5 x 8,0 m). Das verwendete Saatgut der Weißen Lupine wurde direkt vor der Aussaat mit HiStick-Lupinen® (Rhizobien) beimpft. Die Aussaaten erfolgten mit einer Parzellensämaschine als Drillsaat oder im Einzelkornsaatverfahren. Die Herbizide wurden mit einer Versuchsfeldspritze mit 2,5 m Arbeitsbreite appliziert, welche 200 l/ha Spritzbrühe mit 2,1 bar Druck und einer Geschwindigkeit von 5 km/h aus Airmix 120-025 Düsen ausbrachte. Die Bewässerung erfolgte über Tropfschläuche. Geerntet wurde mit einem Parzellenmähdrescher.



Abb. 3: Sortenversuch Weiße Lupine am Standort Bingen Anfang Mai 2020, rechts mit Bewässerung, links ohne (eigene Aufnahme).



Abb. 4: Versuchsfeld Weiße Lupinen Bingen 22.5.2020 (eigene Aufnahme).

Sortenversuch Weiße Lupine

Auf drei Standorten (Bingen bewässert, Bingen unbewässert und Weiler/Waldalgesheim) fanden an drei Jahren (2020, 2021 und 2022) Sortenversuche mit acht Weiße Lupine Sorten statt (Abb. 5). Die Auswertung der gesamten Projektlaufzeit wurde für alle ertragsrelevanten Parameter vorgenommen (Tab. 2). Es wurden jeweils die Standort- und Jahreseinflüsse geprüft.



Abb. 5: Sorten in der Blüte am 17.06.2020 am Standort Waldalgesheim (eigene Aufnahme).

Standort:

Wie sich im Laufe des Projekts deutlich zeigte, hat der Standort einen entscheidenden Einfluss auf die Anbauwürdigkeit der Weißen Lupine und beeinflusst die Ertragshöhe stärker als die Sortenwahl. Neben der Wasserverfügbarkeit ist die Bodenbeschaffenheit relevant. Böden mit freiem Kalk, wie sie beispielsweise in Rheinhessen vorkommen, sind für den Anbau der Weißen Lupine ungeeignet, weil hier kein ausreichendes Pflanzenwachstum möglich ist. Es kann zu einer Kalkchlorose mit entsprechenden Eisenmangelsymptomen kommen, die eine normale Pflanzenentwicklung nicht zulässt oder sie stark beeinträchtigt.

Die Standorte während der Projektlaufzeit, auf denen Weiße Lupine angebaut wurde, lagen auf unterschiedlichen Höhen. Diese waren: Standort Bingen 88 m über N.N., Weiler/Waldalgesheim: 280 über N.N. m und die Praxisfläche in Biebern 400 m über N.N. In Tabelle 2 sind die Saat- und Erntetermine der einzelnen Standorte und Jahre, sowie die daraus resultierende Vegetationszeit aufgeführt. Demnach lagen die Vegetationszeiten zwischen min. 144 Tagen und max. 191 Tagen. Bis auf die sehr langsame Abreife im Jahr 2021 in Biebern sind die Variationen gering und auf allen Standorten konnten die Lupinen ausreifen und geerntet werden.

Tab. 2: Standorte, Höhenlage, Aussaat- und Erntetermine der Weißen Lupine während der Projektlaufzeit 2020-22.

Standort	Höhenlage (m über N.N)	Jahr	Aussaat	Ernte	Vegetations- Tage
Bingen	88 m	2020	17.03.2020	10.8.2020	156
		2021	24.03.2021	25.08.2021	154
		2022	07.03.2022	26./28.7.2022	166
Weiler/Wald- algesheim	280 m	2020	23.03.2020	14.08.2020	144
		2021	23.03.2021	19.08.2021	149
		2022	09.03.2022	03.08.2022	147
Biebern	400 m	2020			
		2021	02.04.2021	10.10.2021	191
		2022	21.03.2022	14.08.2022	146

Tab. 3: Durchschnittswerte der Ertragsparameter im Sortenversuch der Weißen Lupine über alle drei Versuchsjahre und alle Standorte. *unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Sorten; ANOVA mit $\alpha=0,05$; Post-Hoc-Test Scheffé.

Sorte	Pflanzen/ m ²	Höhe in cm	Lager** in %	Hülsen/ Pflanze	Körner/ Hülse
Amiga	65,0 bc	57,7 cd	3,3 a	8,4 b	4,0
Celina	69,2 ab	57,4 cd	33,3 b	7,2 b	4,1
Dieta	70,0 ab	71,4 a	62,5 c	8,6 ab	3,8
Feodora	50,9 d	54,4 d	4,2 a	10,8 a	4,1
Frieda	77,8 a*	59,7 c	54,6 b	7,3 b	4,1
Nelly	59,2 bcd	65,5 b	50,8 b	8,0 b	3,9
Victor Baer	53,3 cd	55,2 cd	0,0 a	9,2 b	3,9
Boros	70,1 ab	41,0 e	0,0 a	7,3 b	3,9

**wurde nur im bewässerten Versuch in Bingen erhoben

Die **Pflanzendichte** unterschied sich nicht zwischen den Standorten ($p=0,182$). Das Jahr und die Sorte hatten einen signifikanten Einfluss auf die Auflaufraten ($p<0,001$). Die Post-Hoc-Tests ergaben, dass die Pflanzendichte 2022 mit durchschnittlich 56,2 Pflanzen/m² am geringsten war. Im Jahr 2020 lag er bei 63,7 Pflanzen/m² und damit signifikant höher. Die höchste Pflanzendichte mit durchschnittlich 74,0 Pflanzen/m² wurde 2021 gezählt. Die signifikant höchsten Auflaufraten wies die Sorte „Frieda“ auf, gefolgt von „Celina“, „Dieta“ und „Boros“. Die Sorten „Amiga“, „Nelly“ und „Victor Baer“ liefen schlechter auf. Die signifikant geringsten Auflaufraten erzielte die Sorte „Feodora“ (Tab. 3).

Die **Pflanzenhöhe** unterschied sich signifikant zwischen den Jahren, Standorten und Sorten (je $p<0,001$) und erwies sich somit als standort- und sortenspezifisch, wie auch witterungsabhängig. Mit durchschnittlich 48,9 cm waren die Pflanzen 2022 am niedrigsten, gefolgt von 61,4 cm im Jahr 2020 und 66,2 cm im Jahr 2021. Die niedrigsten Pflanzenhöhen wurden weiter am Standort Weiler/Waldalgesheim gemessen (\emptyset 45,4 cm). Am Standort Bingen im unbewässerten Versuch lag die Durchschnittshöhe bei \emptyset 51,4 cm im bewässerten Versuch bei \emptyset 77,7 cm ($p<0,001$). Die signifikant höchste Sorte war „Dieta“, gefolgt von „Nelly“. Zwischen 50 und 60 cm hoch wurden die Sorten „Frieda“, „Amiga“, „Celina“, „Victor Baer“ und „Feodora“. Die mit Abstand niedrigste Sorte war mit 41,0 cm „Boros“ (Tab. 3).

Mit zunehmender Pflanzenhöhe stieg auch die **Lagerneigung** der Sorte. Das Versuchsjahr hatte keinen Einfluss auf die Lagerbildung ($p=0,746$). Die Sorte hatte einen signifikanten Einfluss auf die Lagerbildung ($p<0,001$). Die Sorten „Dieta“, „Frieda“ und „Nelly“ waren demnach am stärksten vom

Lager betroffen. Die Sorten „Victor Baer“ und „Boros“ wiesen keine Lagerbildung auf (Tab. 3). Die Lagerbildung wurde nur auf dem bewässerten Standort in Bingen bonitiert, da auf den Standorten ohne Bewässerung keine Lagerbildung stattfand.

Die durchschnittliche **Hülsenanzahl** je Pflanze unterschied sich signifikant zwischen den Jahren ($p < 0,001$) und Standorten ($p < 0,001$). 2021 war sie mit durchschnittlich 5,6 Hülsen/Pflanze signifikant niedriger als in den beiden anderen Jahren 2020 und 2022 mit 9,4 Hülsen/Pflanze. In den bewässerten Versuchen wurden über alle Jahre und Sorten im Schnitt 12,2 Hülsen/Pflanze gebildet wohingegen es in den unbewässerten Versuchen am Standort Bingen nur halb so viele waren (6,5 Hülsen/Pflanze). Die beiden Sorten „Dieta“ und „Feodora“ bildeten signifikant mehr Hülsen als die verbleibenden Sorten. Jedoch kann dies bei „Feodora“ auch durch ihren lückigeren Auflauf begründet sein, wodurch die einzelnen Pflanzen stärker verzweigen konnten.

Die **Körneranzahl**/Hülse variierte zwischen den Jahren und den Standorten. Im Jahr 2020 waren es signifikant mehr (4,5 Körner/Hülse) als 2022 mit 3,8 Körner/Hülse und 2021 mit 3,5 Körnern/Hülse ($p < 0,001$). Je nach Standort lagen die durchschnittlichen Körnerzahlen zwischen 3,8 (Bingen unbewässert) und 4,1 (Bingen bewässert). Das Sortenmittel unterschied sich nicht signifikant ($p = 0,532$).

In Tabelle 4 sind die **Ertragsdaten** in dt/ha bei 86 % Trockensubstanz der drei Versuchsjahre für die Standorte Bingen (bewässert, unbewässert) und Weiler/Waldalgesheim je Sorte aufgeführt. Zwischen den Versuchsjahren lagen signifikante Unterschiede bei den Erträgen vor. So waren die Erträge im Jahr 2021 signifikant höher als in den beiden anderen Jahren ($p < 0,001$). Die Jahre 2020 und 2022 unterschieden sich hinsichtlich der Erträge nicht signifikant voneinander ($p = 0,992$).

Tab. 4: Erträge in dt/ha bei 86 % TS der Weißen Lupine nach Sorte, Jahr und Standort.

Sorte	Bingen bewässert			Bingen unbewässert			Weiler			Gesamt Mittel dt/ha	Untergruppe $p < 0,005^*$
	2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022		
Amiga	44,0	39,4	41,0	24,4	34,7	18,4	20,6	7,0	13,9	27,1	ab
Celina	35,3	38,4	47,2	21,0	38,9	22,6	24,5	10,8	17,5	28,5	a
Dieta	37,8	33,0	42,6	21,9	36,3	24,8	23,7		17,5	29,7	a
Feodora	31,0	41,9	38,4	17,6	40,1	8,7	7,6	12,2	8,3	22,9	bc
Frieda	36,7	38,2	45,5	22,8	32,3	22,7	21,3	7,5	18,5	27,3	ab
Nelly	35,8	23,3	39,5	19,2	31,2	18,9	18,5	4,6	11,1	22,4	c
Victor Baer	27,8	31,1	24,2	13,5	34,9	10,5	7,1	7,0	4,5	17,9	d
Boros	26,4		27,4	18,6		13,8	8,0		8,1	17,1	d

*unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Sorten, ANOVA mit $\alpha = 0,05$, Post-Hoc-Test Scheffé.

Die Erträge unterschieden sich signifikant zwischen den Sorten ($p < 0,001$). Am ertragsstärksten waren die Sorten „Dieta“ und „Celina“ mit durchschnittlich 29,7 dt/ha bzw. 28,5 dt/ha über alle Versuche und Jahre. Die Sorten „Frieda“ und „Amiga“ erbrachten mit ca. 27,0 dt/ha ebenfalls höhere Erträge. Die Sorten „Feodora“ und „Nelly“ erzielten im Schnitt 22,0 dt/ha und die Sorten „Boros“ und „Victor Baer“ erwiesen sich mit rund 17,5 dt/ha als vergleichsweise ertragsschwach.

Der ertragsschwächste Standort für alle Sorten und über die gesamte Projektlaufzeit war der Standort Weiler/Waldalgesheim ($p < 0,001$), gefolgt von den unbewässerten Flächen in Bingen (Abb. 6). Die höchsten Erträge wurden auf dem Standort Bingen mit Bewässerung erzielt. Wassermangel und Trockenheit bewirken Ertragseinbußen.

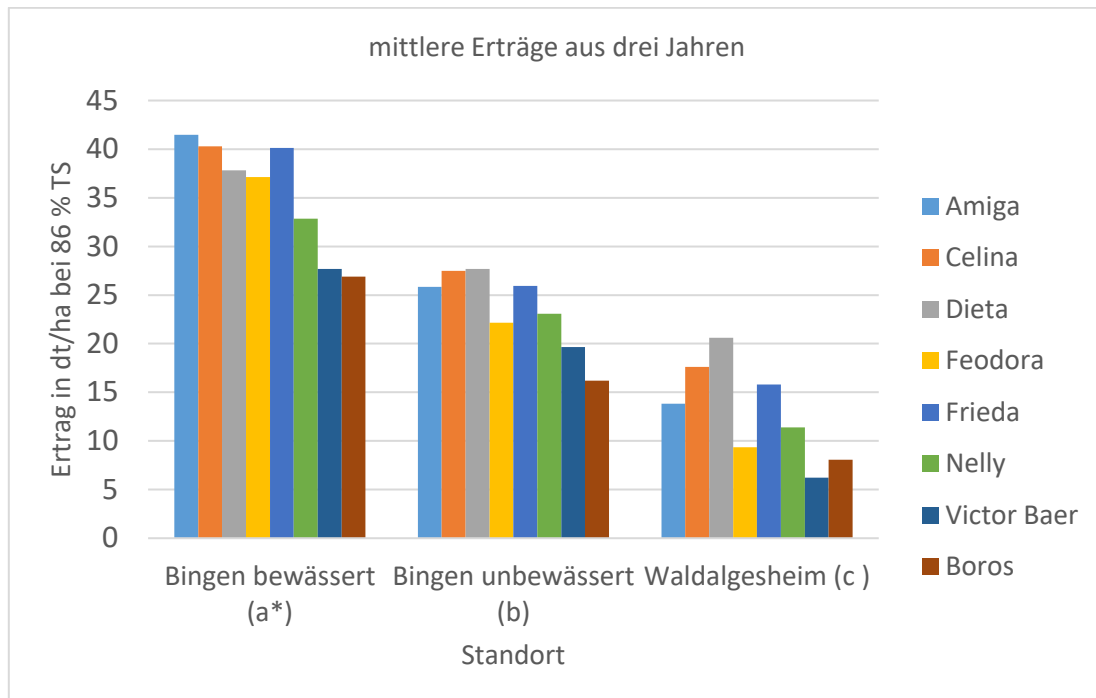


Abb. 6: Mittlere Erträge [dt/ha bei 86 % TS] aus drei Jahren der Weißen Lupinen nach Standort und Sorte. *unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Sorten, ANOVA mit $\alpha=0,05$, Post-Hoc-Test Scheffé

Als Kriterium der Reife kann die Kornfeuchte betrachtet werden (Tab. 5). Die Kornfeuchte unterschied sich signifikant zwischen den Jahren, den Sorten und den Standorten (je $p < 0,001$). Die Kornfeuchte ist vor allem an den Sortengenotyp und die Wechselwirkung mit der vorherrschenden Jahreswitterung geknüpft. So waren über alle Standorte die Kornfeuchten im Jahr 2021 mit durchschnittlich 18,9 % am signifikant höchsten, gefolgt von dem Jahr 2020 mit 12,9 % und 2022 mit 10,5 % Kornfeuchte. Bei den Sorten erwiesen sich „Victor Bear“ und „Nelly“ als spät-reifend mit entsprechend höheren Feuchtegehalten von über 18,0 %. Die verbleibenden Sorten konnten über alle Jahre und Standorte sicher abreifen und wiesen Feuchtegehalte von 11,4 % („Boros“) bis 13,2 % („Dieta“) auf. Hinsichtlich des Standortes erfolgte die sicherste Abreife auf dem unbewässerten Standort in Bingen (durchschnittliche Feuchte 11,1 %). Auf den bewässerten Standort in Bingen und in Weiler/Waldalgesheim lag die Kornfeuchte bei durchschnittlich 15,3 bzw. 15,4 %. Die unterschiedlichen Kornfeuchten am Standort Bingen machen den Einfluss der Bewässerung deutlich.

Tab. 5. Kornfeuchte in % der Weißen Lupine nach Standort, Sorte und Jahr. *unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Sorten bzw. Standorten, ANOVA mit $\alpha=0,05$, Post-Hoc-Test Scheffé.

Höhe Sorte/Jahr	Bingen bewässert (b*)			Bingen unbewässert (a*)			Weiler/Waldalgesheim (b*)			MW Sorten dt/ha	Unter- gruppe p<0,05*
	88 m	88 m	280 m	2020	2021	2022	2020	2021	2022		
Amiga	12,4	20,2	9,1	8,8	12,6	9,4	14,6	17,3	9,0	12,6	a
Celina	12,5	13,8	9,2	9,1	13,1	8,4	13,0	16,6	8,4	11,5	a
Dieta	13,3	21,5	11,8	9,5	14,6	9,3	16,8	-	8,9	13,2	a
Feodora	13,3	13,5	11,7	9,0	12,2	12,1	16,2	16,7	9,5	12,7	a
Frieda	12,2	14,0	9,6	9,3	12,5	8,9	12,6	17,6	8,5	11,7	a
Nelly	14,4	34,5	18,3	9,1	19,5	10,6	21,6	31,0	10,6	18,9	b
Victor Baer	14,2	34,3	14,8	10,3	13,7	12,4	21,5	26,8	11,2	17,7	b
Boros	13,1	-	9,8	9,0	-	11,8	14,6	-	9,4	11,3	a*
MW JAHRE	13,2	21,7	11,8	9,3	14,0	10,4	16,4	21,0	9,4		
MW Standort	15,3			11,1			15,1				

Auf dem höchstgelegenen Standort in Biebern (400 m) waren ebenfalls die Jahresschwankungen zu beobachten. Hier wurden die Sorten „Celina“ oder „Frieda“ angebaut und 2021 waren die Feuchtegehalte mit 19,8 % deutlich höher als in den beiden anderen Jahren. Eine Nachtrocknung war 2021 erforderlich, 2020 und 2022 nicht.

Zusammenfassend:

Alle getesteten Sorten liefen in den beiden sommertrocken-heißen Jahren 2020 und 2022 schlechter auf als im feuchteren Jahr 2021. Die Pflanzhöhe erwies sich als sortenspezifisch und variierte zwischen den Standorten und Jahren. Mit der Pflanzhöhe ist auch die Lagerneigung einer Sorte verbunden. Die höchsten Sorten „Dieta“, „Nelly“ und „Frieda“ waren am stärksten von Lager betroffen. Da dieses aber nur in den bewässerten Versuchen beobachtet wurde, spielt sie im Praxisanbau nur bei guter Wasserversorgung eine Rolle. Die Hülsenanzahl unterschied sich zwischen den Sorten und war nicht an die Pflanzhöhe geknüpft. Allerdings bewirkten niedrigere Auflaufraten tendenziell mehr Hülsen, da die Pflanzen mehr Platz für Verzweigungen hatten. Alle Sorten bildeten etwa vier Körner pro Hülse aus. Es gab in allen drei Jahren und Standorten kein signifikantes Vorkommen von Anthraknose.

Die Erträge der Weißen Lupine lagen während der drei Versuchsjahren zwischen 6,2 und 41,5 dt/ha. Das Ertragsniveau kann durch die richtige Sortenwahl geringfügig erhöht werden. Ertragsstarke Sorten sind „Dieta“, „Celina“, „Frieda“ und „Amiga“. Der Standort hat einen deutlichen Einfluss auf die Erträge. Standorte mit hohen pH-Werten erwiesen sich als ungeeignet für den Anbau der Weißen Lupine. Liegt freier Kalk im Boden vor, ist kein Lupinenanbau möglich, da die Pflanzen nach dem Auflaufen absterben. Hinsichtlich der Abreife erwiesen sich alle Standorte als geeignet. So ist der Lupinenanbau bis auf Höhenlagen von 400 m möglich. Eine Nachtrocknung des Ernteguts wird in feuchteren Jahren notwendig. Diese Notwendigkeit ergab sich aber auch an den niedrigen gelegenen Standorten. Die Sorten „Victor Baer“ und „Nelly“ erwiesen sich als spät reifend und sind für den hiesigen Anbau weniger geeignet. Weiter brauchen Weiße Lupinen für eine gute Bestandsentwicklung und zuverlässige Erträge eine ausreichende Wasserversorgung. Eine ausgeprägte Trockentoleranz von Weißen Lupinen konnte sortenunabhängig nicht beobachtet werden.

Standort Wörrstadt:

In den ersten beiden Projektjahren wurde auch in Wörrstadt ein Sortenversuch der Weißen Lupine angelegt. Der Bestand entwickelte sich 2020 nach anfänglich gutem Auflauf kaum weiter. Es fand keine nennenswerte Hülsenbildung statt. Im Jahr 2021 war bereits der Lupinenauflauf sehr lückenhaft. Wieder kam es zu keiner Bestandsentwicklung (Abb. 7 und 8), weswegen der Versuch noch vor der Beerntung beendet wurde. Im dritten Projektjahr wurde auf den Standort Wörrstadt verzichtet.



Abb. 7: Sortenversuch Weiße Lupinen am 07.06.2021 in Wörrstadt – deutliche Kalkchlorosen an allen Sorten (eigene Aufnahme).



Abb. 8: Praxisfläche Weiße Lupine in Wörrstadt am 06.08.2021 (eigene Aufnahme).

Neben der Ertragswürdigkeit stellen die Inhaltstoffe der Weißen Lupine einen zentralen Punkt für die Anbaueignung dieser Kultur dar. Begrenzend für den Verzehr und die Verfütterung sind bei der Weißen Lupine die Alkaloide. Der Grenzwert des Gesamtalkaloidgehaltes für die Verfütterung von Süßlupinen liegt bei 0,05 % bezogen auf die Trockenmasse, um sicher Vergiftungserscheinungen ausschließen zu können.

Die Gesamtalkaloidwerte der Sorten „Amiga“, „Celina“, „Frieda“ und „Victor Baer“ aus den drei Projektjahren und Standorten der Sortenversuche sind in Abbildung 9 aufgeführt (Einzelwerte Tab. 6). Es zeigten sich klare Sorten- und Standortunterschiede. In den meisten Fällen wurde der Wert von 0,05 % überstiegen. Innerhalb der untersuchten Sorten wies nur die Sorte „Amiga“ durchgehend niedrige Alkaloidwerte auf. Die Alkaloidgehalte der Neuzulassungen „Celina“ und „Frieda“ variierten zwischen den Standorten und Jahren, lagen aber meist über dem Grenzwert. Bei der Sorte „Victor Baer“ waren die Schwankungen geringer. Weder bezüglich des Standorts noch bezüglich des Jahres folgten die Alkaloidgehalte einem Schema, das die Ableitung von Handlungsempfehlungen ermöglichen könnte. So waren die Gehalte beispielsweise bei Bewässerung je Sorte und Jahr mal höher mal niedriger. Auch zeigte sich kein klarer Zusammenhang zwischen Alkaloidgehalt und Standort. Bei den Sorten „Frieda“ und „Victor Baer“ waren die Alkaloidgehalte am Standort Weiler/Waldalgesheim jeweils höher als in Bingen, bei „Celina“ und „Amiga“ nicht.

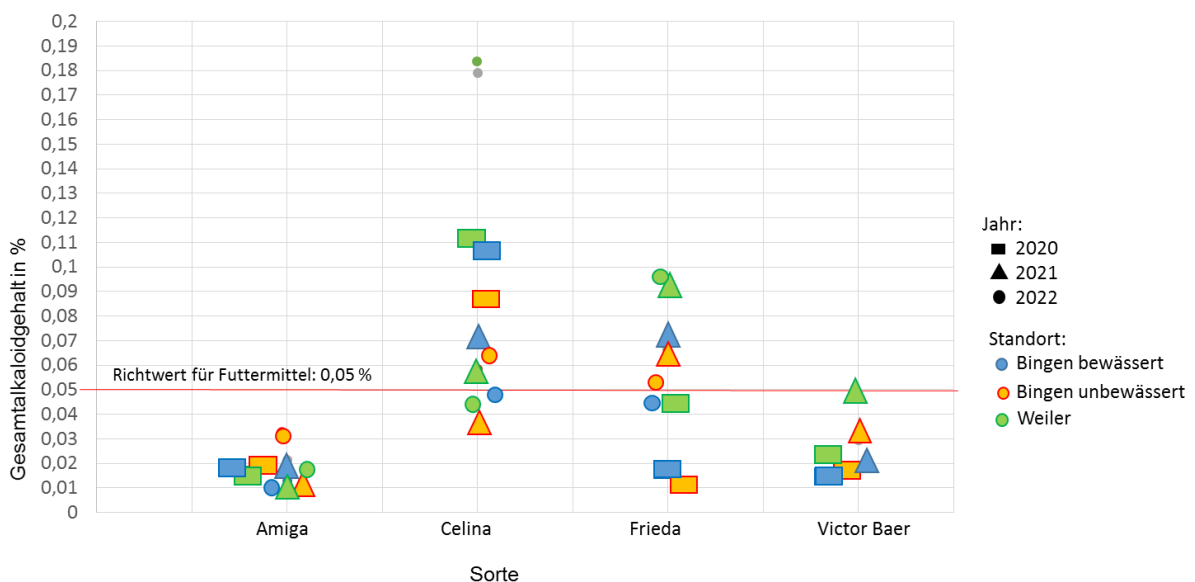


Abb. 9: Gesamtalkaloidgehalte von Weißen Lupinen (in % der Trockenmasse) nach Sorte, Standort und Jahr.

Tab. 6: Alkaloidgehalte in mg/kg TS der Weißen Lupine nach Jahr, Standort und Sorte.

Jahr	Standort	Sorte	Lupenin	13-Hydroxy-lupinin	Sparteïn	Angusti-folin	Multi-florin	Albin	Lupinin	Σ Alkaloide* [Ma % TS]
2020	Bingen bewässert	Amiga	54	53	<10	39			<10	0,0146
2020	Bingen bewässert	Celina	900	80	<10	40			<10	0,1022
2020	Bingen bewässert	Frieda	130	42	<10	21			<10	0,0191
2020	Bingen bewässert	Victor Baer	62	50	<10	24			<10	0,0136
2020	Bingen unbewässert	Amiga	56	73	<10	50			<10	0,0179
2020	Bingen unbewässert	Celina	740	90	<10	41			<10	0,0873
2020	Bingen unbewässert	Frieda	100	30	<10	15			<10	0,0147
2020	Bingen unbewässert	Victor Baer	64	79	<10	35			<10	0,0178
2020	Waldalgesheim	Amiga	51	70	<10	43			<10	0,0164
2020	Waldalgesheim	Celina	1000	67	<10	30			<10	0,1096
2020	Waldalgesheim	Frieda	50	48	<10	20			<10	0,0413
2020	Waldalgesheim	Victor Baer	110	85	<10	30			<10	0,0223
2020	Wörrstadt	Amiga	23	27	<10	30			<10	0,008
2020	Wörrstadt	Celina	670	70	<10	36			<10	0,0772
2020	Wörrstadt	Frieda	130	23	<10	15			<10	0,0171
2020	Wörrstadt	Victor Baer	24	34	<10	20			<10	0,0078
2021	Bingen bewässert	Amiga	76	61	<10	20	<10			0,0157
2021	Bingen bewässert	Celina	600	49	19	11	22			0,0701
2021	Bingen bewässert	Frieda	590	69	39	13	17			0,0728
2021	Bingen bewässert	Victor Baer	97	73	<10	12	<10			0,0182
2021	Bingen unbewässert	Amiga	54	57	<10	17	<10			0,0128
2021	Bingen unbewässert	Celina	300	39	<10	10	<10			0,0349
2021	Bingen unbewässert	Frieda	540	87	31	15	13			0,0685
2021	Bingen unbewässert	Victor Baer	220	84	<10	19	<10			0,0323
2021	Weiler	Amiga	31	44	<10	<10	<10			0,0075
2021	Weiler	Celina	440	67	55	<10	22			0,0584
2021	Weiler	Frieda	670	110	75	14	35			0,0904
2021	Weiler	Victor Baer	330	91	21	11	18			0,0471
2022	Bingen bewässert	Amiga	41	41	<10	27	<10	19	<10	0,0128
2022	Bingen bewässert	Celina	360	32	<10	18	18	50	<10	0,0478
2022	Bingen bewässert	Frieda	330	69	<10	20	20	52	<10	0,0491
2022	Bingen bewässert	Victor Baer	500	140	<10	55	53	110	<10	0,0858
2022	Bingen unbewässert	Amiga	130	81	<10	38	15	40	<10	0,0304
2022	Bingen unbewässert	Celina	420	88	<10	22	30	43	<10	0,0603
2022	Bingen unbewässert	Frieda	330	70	<10	22	31	37	<10	0,0490
2022	Bingen unbewässert	Victor Baer	400	150	<10	42	41	91	<10	0,0724
2022	Weiler	Amiga	59	60	<10	34	<10	27	<10	0,0180
2022	Weiler	Celina	290	41	<10	13	19	51	<10	0,0414
2022	Weiler	Frieda	640	98	<10	63	45	100	<10	0,0946
2022	Weiler	Victor Baer	620	140	<10	64	49	130	<10	0,1000

Einfluss des Bodens auf den Alkaloidgehalt

An der TH Bingen fanden 2021 und 2022 weiterführende Untersuchungen zum Einfluss verschiedener Bodenarten auf den Alkaloidgehalt der Weiße Lupine am Beispiel der Sorte „Celina“ statt. Der Einfluss neun verschiedener Böden auf das Wachstum der Weißen Lupine und den Gehalt an Alkaloiden in den Körnern wurde in Gefäßversuchen untersucht. Die Böden stammten aus den Flächen, die für die Lupinen Versuche innerhalb des Projekts genutzt wurden (Tab. 7).

Tab. 7: Bodenwerte ausgewählter Standorte

Standort	Jahr	Bodenart	pH-Wert (CaCl ₂)	Phosphat (P ₂ O ₅)	Kalium (K ₂ O)	Magnesium (Mg)	Bor (mg/ha)	Σ Alkaloide* [% TS]
Bingen gedämpft*	2021	IS	7,49	59 (E)	93 (E)	17 (E)	1,05 (D)	0,0998
Bingen ungedämpft	2021	IS	7,34	48 (E)	72 (E)	14 (D)	-	0,0481
Bingen II	2022	sL	6,5	16 (C)	31 (E)	10 (C)	0,37 (A)	0,0837
Bingen I	2022	IS	6,9	28 (D)	48 (E)	16 (E)	1,74 (E)	0,0171
Weiler	2021	IU	7,6	17 (C)	20 (C)	6 (C)	0,40 (B)	0,148
Waldalgesheim	2022	L	6,5	9 (B)	35 (D)	11 (C)	0,63 (C)	0,0176
Waldalgesheim	2020	sL	6,51	4 (A)	17 (C)	16 (E)	-	0,04
Wörrstadt	2020	sL	7,63	20 (C)	24 (D)	7 (C)	0,44 (B)	0,1397
Wörrstadt	2021	tL	7,67	23 (D)	38 (D)	7 (B)	0,50 (B)	0,0663

*dieser Boden dient als Standardsubstrat für die Gewächshausversuche. Die Großbuchstaben in Klammern klassifizieren die Versorgungsstufen: A = sehr niedrig, B = niedrig, C = anzustreben, D = hoch, E = Sehr hoch

Die Töpfe wurden mit Boden befüllt und zehn Samen der Sorte „Celina“ je Topf gesät und nach Bedarf bewässert (Abb. 10). Die Töpfe standen unter Außenklima am Standort Bingen. Nach der Abreife wurden die Pflanzenhöhen gemessen und die Anzahl Hülsen gezählt, geerntet und für die Alkaloidanalyse versandt.



Abb. 10: Gefäßversuch Weiße Lupine zur Aussaat, Topf Beispiel „Bingen gedämpft“ und Gesamtansicht.

Die Messungen bestätigten deutlich das unterschiedliche Pflanzenwachstum auf den einzelnen Böden. Am schlechtesten entwickelten sich die Lupinen auf dem Boden „Bingen gedämpft“, gefolgt von

„Wörrstadt 2021“. Auf beiden Böden fand aufgrund auftretender Kalkchlorose keine nennenswerte Hülsenbildung statt. Weiter gediehen die Lupinen auf den Böden aus Weiler 2021 und Waldalgesheim 2022 besser als auf den Böden aus Bingen I und II (Abb. 10).

Die Daten aus dem Gefäßversuch sind besonders interessant, da hier der Einfluss des Bodens auf den Alkaloidgehalt bei ansonsten gleichen Bedingungen geprüft werden konnte. Die beobachteten Unterschiede lassen sich vermutlich auf die unterschiedlichen Böden zurückführen (Tab. 8).

Tab. 8: Analyse Ergebnisse des Alkaloidgehaltes in mg/kg TS der Sorte „Celina“ in Abhängigkeit des Bodens im Gefäßversuch unter gleichen Umweltbedingungen

Standort	Lupinin	13-Hydroxylupinin	Sparteïn	Angustifolin	Multi-florin	Albin	Lupinin	Σ Alkaloide* [% TS]
Bingen gedämpft	760	170	19	20	29	-	-	0,0998
Bingen nicht gedämpft	370	79	10	11	11	-	-	0,0481
Bingen II 2022	660	56	<10	21	32	68	<10	0,0837
Bingen I 2022	97	28	<10	14	<10	32	<10	0,0171
Weiler 2021	1200	66	<10	31	60	120	<10	0,148
Waldalgesheim 2022	110	28	<10	11	<10	27	<10	0,0176
Waldalgesheim 2020	280	100	<10	20	<10	-	-	0,04
Wörrstadt 2020	800	370	130	48	49	-	-	0,1397
Wörrstadt 2021	460	120	<10	20	18	45	<10	0,0663

Die Spannweite des Gesamtalkaloidgehaltes der Sorte „Celina“ liegt zwischen min. 0,0171 % auf dem Standort in Bingen I 2022 und max. 0,148 % in Weiler 2021. Wie aus der Graphik in Abbildung 11 hervorgeht, besteht kein klarer Zusammenhang zwischen der Bodenart oder dem pH-Wert und dem Gesamtalkaloidgehalt.

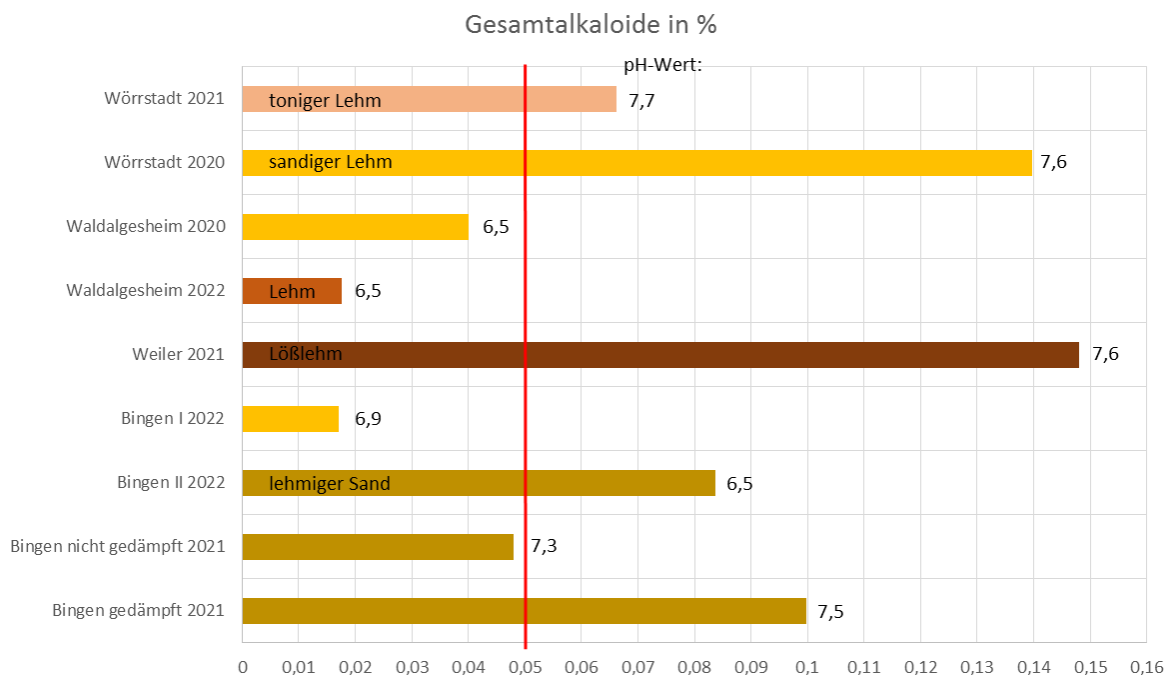


Abb. 11: Gesamtalkaloidgehalte in % TS der Weißen Lupinen Sorte „Celina“ in Abhängigkeit des Bodens (Gefäßversuch unter gleichen Umweltbedingungen)

Qualitativer Nachweis des Anteils bitterer Körner im Erntegut der Weißen Lupine

Als Futtermittel sind nach Verordnung EU Nr. 68/2013 – Katalog der Einzelfuttermittel nur Süßlupinen zugelassen. Diese sind definiert als Lupinensorten mit einem Bitterkornanteil von höchstens 5 %. Nachdem die durchgeführten Alkaloidanalysen innerhalb der Sortenversuche aber auch im Gefäßversuch eine große Spannweite der Alkaloidgehalte in der Weißen Lupine aufzeigten, wurden an der TH Bingen weitere, qualitative Untersuchungen zum Anteil der Bitterkörner durchgeführt. Hierfür wurde auf ein in der EG VO 1121/2009, Anhang II, Artikel 13 beschriebenes Verfahren zur Bestimmung des Bitterstoffgehaltes von Lupinen zurückgegriffen (Abb. 12), dass in den Durchführungsbestimmungen zur Verordnung (EG) Nr. 73/2009 des Rates die Normen für die Untersuchungsmethoden zur Bestimmung des Bitterstoffgehaltes einer Lupinenprobe festlegt. Je Probe werden 200 Körner untersucht. Die Homogenitätstoleranz beträgt 1 auf 100 Körner. Die trockenen Körner werden quer durchgeschnitten. Die Kornhälften werden zehn Sekunden lang in eine Jodlösung getaucht und danach fünf Sekunden mit Wasser abgespült. Die Schnittflächen von Bitterkörnern weisen eine Braunfärbung auf, während sie bei alkaloidarmen Körnern gelb bleiben. Die zu verwendende Jodlösung wird mit 14 g Kaliumiodid, gelöst in möglichst wenig Wasser und mit 10 g Jod versetzt auf 100 cm³ mit Wasser aufgefüllt. Vor ihrer Verwendung muss die Lösung eine Woche in Braunglasflaschen ruhen. Für die Verwendung wurde die Stammlösung auf 1:3 verdünnt.



Abb. 12: Ablauf der qualitativen Bestimmung des Bitterkornanteils in Weißer Lupine nach EG-VO Nr. 73/2009



Abb. 13: Links Auszählen der Bitterkörner – braun verfärbte Körner, siehe rote Umrandung. Rechts: Vergleich verfärbter und gelber Lupinen Körner.

Insgesamt wurden 50 Lupinen Proben aus den Sortenversuchen 2021 und 2022 auf diese Weise untersucht. Es wurde jeweils die Anzahl brauner und orange-verfärbter Samen bestimmt (Abb. 13). Da es sich um keinen quantitativen Alkaloidnachweis handelt, ist es nicht möglich, den unterschiedlichen Verfärbungsgrad einem bestimmten Alkaloidgehalt zuzuordnen. Eine Gegenüberstellung zu den vorhandenen Laboranalysen (LC-MS/MS-Methode) wurde vorgenommen (Tab. 9).

Tab. 9: Anzahl und Anteil der braun- und verfärbten Körner nach der Bitterkörneranalyse mit Iod sowie der Gesamtalkaloidgehalt und Lupanin der Proben bestimmt von JenaBios

Jahr	Standort	Sorte	Anzahl braun	Anzahl verfärbt	Anteil verfärbt [%]	Anteil braun [%]	Σ Alkaloide [% TS]	Lupanin [mg/kg TS]
2022	Waldalgesheim	Amiga	1	1	0,010	0,005	0,0180	59
2022	Waldalgesheim	Celina	13	5	0,090	0,065	0,0414	290
2022	Waldalgesheim	Frieda	11	0	0,055	0,055	0,0946	640
2022	Waldalgesheim	Victor Baer	18	0	0,090	0,090	0,1000	620
2022	Bingen bewässert	Amiga	0	0	0,000	0,000	0,0128	41
2022	Bingen bewässert	Celina	15	0	0,075	0,075	0,0478	360
2022	Bingen bewässert	Frieda	7	4	0,055	0,035	0,0491	330
2022	Bingen bewässert	Victor Baer	11	10	0,105	0,055	0,0858	500
2022	Bingen unbewässert	Amiga	0	0	0,000	0,000	0,0304	130
2022	Bingen unbewässert	Celina	9	6	0,075	0,045	0,0603	420
2022	Bingen unbewässert	Frieda	7	1	0,040	0,035	0,0490	330
2022	Bingen unbewässert	Victor Baer	16	0	0,080	0,080	0,0724	400
2022	Biebern	Celina	4	10	0,070	0,020	0,1302	1.100
2021	Waldalgesheim	Amiga	0	0	0,000	0,000	0,0075	31
2021	Waldalgesheim	Celina	12	0	0,060	0,060	0,0584	440
2021	Waldalgesheim	Victor Baer	10	0	0,050	0,050	0,0471	330
2021	Bingen bewässert	Amiga	0	0	0,000	0,000	0,0157	76
2021	Bingen bewässert	Celina	7	0	0,035	0,035	0,0701	600
2021	Bingen bewässert	Frieda	10	0	0,050	0,050	0,0728	590

2021	Bingen bewässert	Victor Baer	4	3	0,035	0,020	0,0182	97
2021	Bingen unbewässert	Amiga	0	0	0,000	0,000	0,0128	54
2021	Bingen unbewässert	Celina	4	3	0,035	0,020	0,0349	300
2021	Bingen unbewässert	Frieda	21	0	0,105	0,105	0,0685	540
2021	Bingen unbewässert	Victor Baer	6	0	0,030	0,030	0,0323	220

Wie die Korrelationskoeffizienten in Tab. 10 zeigen, liegt eine geringe Korrelation zwischen den Ergebnissen der Iod-Bestimmung und der Laborergebnisse vor. Die beste Übereinstimmung mit einem r^2 -Wert von 0,726 ergab der Vergleich des Gesamtalkaloidgehaltes [% TS] mit dem Anteil verfärbter Körner. Betrachtet man nur, wie in der Methodenbeschreibung vorgesehen, die braun-gefärbten Körner, liegt der Korrelationskoeffizient bei lediglich 0,533.

Tab. 10. Korrelationskoeffizienten r^2 zwischen ausgewählten Parametern

Korrelation zwischen	Anteil braun [%]	Anteil verfärbt [%]
∑ Alkaloide [% TS]	0,533	0,726
Lupanin	0,474	0,667

Eine Evaluierung der Iod-Bestimmungsmethode ist anhand der geringen Anzahl an Vergleichswerten (n=24) nur bedingt aussagekräftig. Dennoch zeigt sich mit Blick auf die Einzelwerte, dass die Iod-Bestimmung nicht dafür geeignet ist, niedrige Alkaloidgehalte nachzuweisen. So fanden sich bei der Sorte „Amiga“ in 5 von 6 Proben keine verfärbten Körner. Mit einer Ausnahme (Bingen, unbewässert 2022: Alkaloidgehalt = 0,0304 %), lagen die Alkaloidgehalte dieser Sorte zwischen 0,0075 und 0,018%. Aus diesen Ergebnissen lässt sich für die Iod-Bestimmung eine Nachweisgrenze für Alkaloidgehalte unterhalb von 0,015 % ableiten.

Die Zuverlässigkeit der Iod-Bestimmungsmethode wird weiter eingeschränkt, da dunklere Körner (z.B. durch Trocknung oder Sorteneigenschaft) schwer von verfärbten Körnern zu unterscheiden sind. Diese Unsicherheit ließ sich auch durch längere Einwirkzeiten, Quellen der Körner oder ein quer-Teilen zur Vergrößerung der Schnittfläche nicht verhindern.

Demnach scheint die Bestimmung des Bitterkornanteils in Weißen Lupinen mit der in der EG-VO Nr. 1121/2009 und EG-VO Nr. 73/2009 vorgeschriebenen Methode mit Unsicherheiten verbunden. Als aussagekräftige quantitative Bestimmungsmethode wird sie von Wuttke (1942) für blaue und gelbe Lupinen genannt. Eine Übertragung auf Weiße Lupinen scheint aber möglich. Dennoch entspricht die Bestimmung des Bitterkornanteils mit Iod nicht den etablierten Nachweisverfahren für Alkaloide. Die aktuellen Nachweisverfahren beruhen auf der Verbindung von Flüssig- oder Gaschromatographie (LC/GC) und Massenspektrometrie (MS). Dabei dienen die Chromatographie der Auftrennung und die Massenspektrometrie der Identifizierung und/oder Quantifizierung der Substanzen.

Tabelle 11 führt die Ergebnisse der Iod-Methode von weiteren Lupinenproben auf. Eine Laboranalyse fand für diese Proben nicht statt.

Tab. 11. Anteil der Bitterkörner von versch. Sorten Weiße Lupine in %, bestimmt mittels Iod-Methode, nach Standort, Jahr und Sorte

Standort	Jahr	Amiga	Boros	Celina	Dieta	Feodora	Frieda	Nelly	Victor Baer	MW
Bingen	2021	0,000	-	0,035	0,015	0,025	0,050	0,025	0,035	0,026
bewässert	2022	0,000	0,010	0,075	0,010	0,040	0,055	0,010	0,105	0,038
Bingen	2021	0,000	-	0,035	0,000	0,005	0,105	0,000	0,030	0,025
unbewässert	2022	0,000	0,020	0,075	0,000	0,040	0,040	0,000	0,080	0,032
Waldal-	2021	0,000	-	0,060	-	0,070	-	0,000	0,050	0,036
gesheim	2022	0,010	0,020	0,090	0,020	0,020	0,055	0,000	0,090	0,038
	MW	0,002	0,017	0,062	0,009	0,033	0,061	0,006	0,065	0,032

Die Ergebnisse der Iod-Bestimmung zeigen, dass die Sorte Amiga mit 0,002% den geringsten Bitterkornanteil aufweist, gefolgt von Nelly (0,006 %), Dieta (0,009 %) und Boros (0,017 %). Feodora lag mit 0,033% noch unter dem Grenzwert von 0,05 %. Die drei anthraknose-toleranten Sorten Frieda (0,061 %), Celina (0,062 %) und Victor Bear (0,065 %) lagen jeweils über dem Grenzwert. Auf dem unbewässerten Standort in Bingen im Jahr 2021 wiesen die meisten Sorten den geringsten Bitterkornanteil auf. Die meisten Bitterkörner wurden 2022 in Waldalgesheim und auf dem bewässerten Standort in Bingen nachgewiesen. Insgesamt schienen die Anbaubedingungen im Jahr 2021 günstiger für die Weiße Lupine, da mit durchschnittlich 0,029 % (alle Sorten, alle Standorte) weniger Bitterkörner auftraten als im Jahr 2022 mit durchschnittlich 0,036 % (alle Sorten, alle Standorte).

Tab. 12. Gesamtalkaloidgehalt Weiße Lupine in % TS, bestimmt durch LC/MS (JenaBios) nach Standort, Jahr und Sorte

Standort	Jahr	Amiga	Celina	Frieda	Victor Baer	MW
Bingen	2021	0,016	0,070	0,073	0,018	0,044
bewässert	2022	0,013	0,048	0,049	0,086	0,049
Bingen	2021	0,013	0,035	0,069	0,032	0,037
unbewässert	2022	0,030	0,060	0,049	0,072	0,053
Waldal-	2021	0,008	0,058	-	0,047	0,038
gesheim	2022	0,018	0,041	0,095	0,100	0,064
	MW	0,016	0,052	0,067	0,059	0,049

In Tabelle 12 sind die Laborergebnisse der Gesamtalkaloidgehalte aufgeführt. Auch nach diesen Ergebnissen weist die Sorte Amiga den geringsten Alkaloidgehalt auf (0,016 %). Erneut liegen die drei Anthraknose-toleranten Sorten über dem Grenzwert, wobei hier die Sorte Frieda die höchsten Gehalte aufwies. Auch aus den Laboraten geht hervor, dass die Alkaloidgehalte 2021 mit 0,040 % im Durchschnitt geringer waren als 2022 mit 0,055 %. Der Standort mit den geringsten Alkaloidgehalten war der unbewässerte in Bingen (0,045 %), gefolgt von dem bewässerten Standort in Bingen (0,047 %) und Waldalgesheim (0,051 %).

Demnach kann eine tendenzielle Übereinstimmung der Ergebnisse aus beiden Bestimmungsmethoden festgestellt werden. Wobei eine klare Richtigkeit der Werte wohl nur durch die Laboranalytik zu gewährleisten ist. Die Variation des Alkaloidgehaltes nach Sorten, Standorten und Jahren wurde erneut aufgezeigt. Eine Berücksichtigung dieser ist für die Verwendung der Weißen Lupine als Futtermittel dringend geboten.

Saatstärke Weiße Lupine

In allen drei Projektjahren wurde ein Standraumversuch mit sieben verschiedenen Varianten durchgeführt. Erprobt wurden verschiedene Saatstärken mit Drillsaat, Reihenabstand 12,5 cm und zwei Saatstärken im Einzelkornsaatverfahren (EKS) mit 50 cm Reihenabstand. Der Versuch wurde in allen drei Jahren in Bingen auf einer unbewässerten Fläche angelegt, 2020 mit der Sorte „Celina“, 2021 und 2022 mit der Sorte „Frieda“. In Tabelle 13 sind die Mittelwerte der erhobenen Daten aus allen drei Jahren aufgeführt.

Tab. 13: Mittelwerte der Parameter aus allen Projektjahren nach Saatstärke und –verfahren. *Unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, ANOVA mit $p < 0,005$, Post-Hoc-Test Scheffé.

Saatstärke	Pflanzendichte [Pfl./m ²]	Hülse/Pflanze	Körner/Hülse	Höhe [cm]	Ertrag [dt/ha]	Feuchte [%]	TKM [g]
30	33,9 de	9,3 ab	3,9 ab	45,5	25,0 bc	12,4 bc	305,7 b
45	48,8 cd	6,4 bc	3,8 ab	45,5	30,6 ab	10,9 c	327,7 a
60	66,7 c	5,8 c	3,8 ab	46,7	31,1 ab	11,6 c	332,0 a
75	86,0 b	5,0 c	3,6 ab	44,8	30,7 ab	10,7 c	328,3 a
90	115,7 a*	4,2 c	3,5 b	48,0	34,0 a	10,8 c	338,3 a
29,4 EKS	24,8 e	10,3 a	4,0 ab	50,4	20,4 c	15,6 a	292,9 b
44 EKS	30,8 de	12,2 a	4,2 a	49,7	20,1 c	15,3 ab	305,9 b

Die **Pflanzendichte** war 2020 und 2021 signifikant geringer als im Jahr 2022 ($p < 0,001$). Die einzelnen Varianten wiesen entsprechend des Versuchsaufbaus signifikante Unterschiede in der Pflanzendichte auf ($p < 0,001$). Im Jahr 2022 wurden signifikant weniger **Hülsen pro Pflanze** gebildet als 2020 ($p = 0,038$). Die Saatstärke hatte ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf die Hülsenbildung ($p < 0,001$). Je höher die Aussaatstärke, desto weniger Hülsen je Pflanze wurden gebildet. Ähnlich verhielt es sich auch bei der Anzahl **Körner/Hülse**. Diese nahm mit zunehmender Saatstärke ab. Statistisch unterschieden sich die höchste Drillsaatvariante (3,5 Körner/Hülse) und die höher Einzelkornsaatvariante (4,2 Körner/Hülse) voneinander. Die **Pflanzenhöhe** unterschied sich weder zwischen den Versuchsjahren ($p = 0,309$) noch zwischen den Saatstärken ($p = 0,121$).

Das **Ertragsniveau** unterschied sich zwischen den Jahren signifikant ($p < 0,001$). Der niedrigste Durchschnittsertrag mit 18,1 dt/ha wurde 2020 erzielt, gefolgt von 27,7 dt/ha im Jahr 2022 und 36,7 dt/ha im Jahr 2021. Die Aussaatstärke hatte einen signifikanten Einfluss auf den Ertrag ($p = 0,001$). Am geringsten war der Ertrag bei den Einzelkornsaatvarianten mit 20 dt/ha. Der höchste Ertrag wurde mit der höchsten Aussaatstärke von 90 Körnern/m² erzielt (34 dt/ha) (Abb. 14).

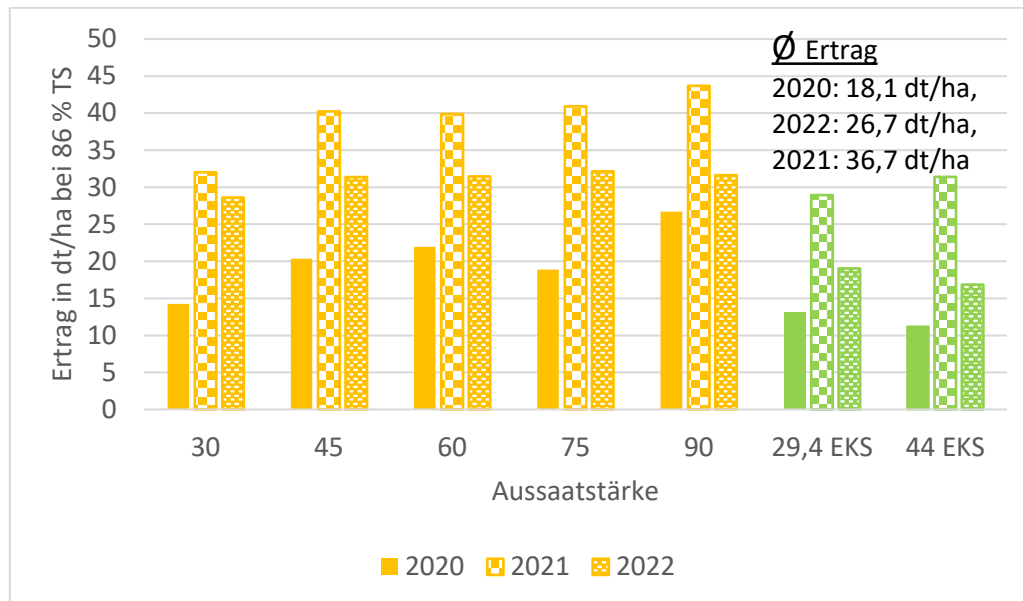


Abb. 14: Kornertrag der Weißen Lupine nach Anbaujahr und Saatverfahren und Saatstärke.

Auch der **Feuchtegehalt** unterschied sich zwischen den Jahren. Am niedrigsten war er 2020 (8,8 %), gefolgt von 2022 (11,1 %). Im Jahr 2021 lag der durchschnittliche Feuchtegehalt bei 17,4 % und damit signifikant über dem der anderen Jahre. Zwischen den Saatstärken konnten ebenfalls signifikante Unterschiede im Feuchtegehalt nachgewiesen werden. Am höchsten war er in den Einzelkornsaatvarianten und der niedrigen Drillsaat.

Die **Tausendkornmasse** variierte zwischen den Jahren. Am schwersten waren die Körner 2021 (\emptyset 368,2 g) gefolgt von 2020 (\emptyset 302,2 g) und 2022 (\emptyset 290,5 g) ($p < 0,001$). Die Körner der Einzelkornsaatvarianten und der niedrigsten Drillsaatstärke waren signifikant leichter als die der Drillsaatvarianten ($p < 0,001$).

Zusammengefasst:

Mit der Einzelkornsaat sind Ertragseinbußen verbunden. Außerdem war das Erntegut deutlich feuchter. Enge Pflanzenabstände in der Reihe und weite Reihen mit ggf. genug Platz für Verunkrautung wirken sich ungünstig auf die Abreife und damit die Feuchtegehalte in der Weißen Lupine aus. Als bevorzugtes Saatverfahren für den Anbau der Weißen Lupine ist demnach die Drillsaat zu nennen. Dabei sollte die Aussaatstärke zwischen 60 und 90 Körnern/m² liegen. Unter Berücksichtigung der Saatgutkosten, kann auch eine niedrigere Saatstärke von 45 Körnern/m² interessant sein. Jedoch sollten bei der Kalkulation die größeren Schwierigkeiten mit der Unkrautkontrolle in weniger dichten Beständen bedacht werden.

Herbizidversuche in der Weißen Lupine

Über die gesamte Projektlaufzeit von drei Jahren wurden insgesamt 44 verschiedene Herbizidvarianten in Bingen und Weiler/Waldalgesheim untersucht. Die Versuchspläne wurden jährlich angepasst, weswegen keine dreijährige Testung der Herbizide vorliegt. So erwiesen sich die Behandlungen mit Tankmischungen (Abb. 14) als kulturschädigend und wurden nur im ersten Projektjahr untersucht. Wirksame Präparate (Abb. 15) wurde in verschiedenen Kombinationen und Aufwandmengen und in Abstimmung mit laufenden Zulassungserweiterungsstudien aus anderen Bundesländern angewandt.



Abb. 14: Behandlung mit 3,0 l/ha Gardo® Gold + 2,0 l/ha Stomp® Aqua (VA) + Tankmischung aus 30 g/ha Sumimax® + 0,5 l/ha Clentiga® (NA1) in Bingen am 08.05.20 (links) und am 27.05.20 in Waldalgesheim (eigene Aufnahme).



Abb. 15: Behandlung mit 3,0 l/ha Gardo® Gold + 2,0 l/ha Stomp® Aqua (VA) + 2,0 l/ha Lentagran® WP (NA1) in Bingen am 22.05.2020 (eigene Aufnahme).

Wie sich herausstellte, besitzt die Weiße Lupine eine hohe Regenerationsfähigkeit, die es ihr ermöglicht, Herbizidschäden zu kompensieren. Bei hohen Wirkungsgraden der Herbizide und geringer Restverunkrautung konnten die Erträge um bis zu 50 % verglichen mit der unbehandelten Kontrolle gesteigert werden. Für die Unkrautbekämpfung im Nachauflauf in der Weißen Lupine wird von Tankmischungen abgeraten. Diese führten stets zu deutlichen Ertragsreduktionen unabhängig von der eingesetzten Herbizidmischung.

Reine Voraufbaubehandlungen erwiesen sich als verträglich, waren jedoch nicht immer ausreichend wirksam, weswegen eine zusätzliche Nachauflaufbehandlung empfohlen wird. Die Herbizidvarianten aus dem Jahr 2022 erwiesen sich als kulturverträglich und wirksam. In Tabelle 14 sind die Ergebnisse aus dem Jahr 2022 aufgeführt.

Tab. 14: Herbizidvarianten in Weißen Lupine aus dem Jahr 2022 mit mittlerem Unkrautdeckungsgrad (UK DG) in % im Juli und Kornertrag in dt/ha.

VG	Präparat	l bzw. kg/ha	UK DG in %		Ertrag [dt/ha]
			MW	± SD	
1	Kontrolle	-	87,3	± 5,3	28,8
2	Spectrum® Plus + Boxer®	2,5 + 2,0	10,9	± 9,1	26,8
3	Spectrum® Plus + Boxer® + Centium® 36 CS	2,5 + 2,0 + 0,2	11,4	± 7,4	27,4
4	Spectrum® Plus + Boxer® + Centium® 36 CS	0,8 + 1,5 + 0,2	18,9	± 10,1	28
5	Spectrum® Plus + Lentagran® WP	0,8 + 0,2	19,4	± 10,6	27,1
7	Spectrum® Plus + Lentagran® WP	2,5 + 2,0	10,1	± 8,6	25,8
8	Spectrum® Plus + Lentagran® WP	2,5 + 1,0	16,9	± 13,1	26,8
9	Stallion SyncTec®	3,0	19,4	± 5,6	27,7
10	Centium® 36 CS	0,25	49,4	± 0,6	27,3
11	Dual Gold® + Boxer® + Centium® 36 CS	1,0 + 2,0 + 0,2	25,8	± 11,8	27,9
12	Spectrum® Plus + Boxer® + Clentiga® + Dash®	2,5 + 2,0 + 1,0 + 1,0	11,9	± 10,6	26,7
6	Spectrum® Plus+ Centium® 36 CS + Lentagran® WP	0,8 + 0,2 + 1,0	15,1	± 9,9	25,9

Alle Varianten reduzierten den Unkrautbesatz. Besonders wirksam war die Kombination aus den drei Voraufdauerherbiziden Spectrum® Plus, Boxer® und Centium® 36 CS. Die Kombination aus Spectrum® Plus mit Lentagran® WP wirkte ebenfalls gut. Hier sind die höheren Aufwandmengen zu bevorzugen.

Tabelle 15 zeigt eine Übersicht aller angewandten Herbizidvarianten während der Projektlaufzeit.

Tab. 15: Übersicht aller angewandten Herbizidvarianten in der Weißen Lupine, 2020 bis 2022.

Jahr	Sorte	Herbizid	Dosis [l oder kg/ha]	Applikation	Ertrag Bingen [dt/ha]	Ertrag Waldalgesheim [dt/ha]
2020	Celina	Kontrolle			25,7	24,7
2020	Celina	Boxer+ Stomp	3,0 + 2,0	VA	42,0	15,6
2020	Celina	Spectrum	0,8	VA	43,2	16,0
2020	Celina	Bandur	4	VA	32,3	15,9
2020	Celina	Sumimax	30 g	VA	40,1	17,9
2020	Celina	Gardo Gold + Stomp	3,0 + 2,0	VA	35,0	17,5
2020	Celina	Centium + Sumimax	0,25 + 30 g	VA + NA	38,2	14,0
2020	Celina	Gardo Gold + Stomp + Sumimax	3,0 + 2,0 + 30 g	VA + NA	40,4	15,0
2020	Celina	Gardo Gold + Stomp + Sumimax	3,0 + 2,0 + 60 g	VA + NA	39,0	13,9
2020	Celina	Gardo Gold + Stomp + Centiga + Dash	,03 + 2,0 + 0,5 + 1,0	VA + NA	37,3	20,0
2020	Celina	Gardo Gold + Stomp + Sumimax + Sumimax	3,0+ 2,0 +30g + 30 g	VA + NA + NA	29,7	17,0
2020	Celina	Gardo Gold + Stomp + Clentiga + Clentiga	3,0 + 2,0 +0,5 + 0,5	VA + NA + NA	41,9	15,9
2020	Celina	Gardo Gold + Stomp + Sumimax + Clentiga™	3,0 + 2,0 + 30g + 0,5	VA + NA	25,2	9,7
2020	Celina	Gardo Gold + Stomp + Sumimax + Clentiga + Dash	3,0 + 2,0 + 30g +0,5 + 1,0	VA + NA + NA	38,4	15,7
2020	Celina	Gardo Gold + Stomp + Lentagran WP + Sumimax™	3,0 + 2,0 + 1kg +30g	VA + NA	33,2	12,7
2020	Celina	Gardo Gold + Stomp + Lentagran WP + Lentagran WP	3,0 +2,0 + 1kg + 1kg	VA + NA + NA	37,1	16,6
2020	Celina	Gardo Gold + Stomp + Debut + Trend + Debut + Trend	3,0 + 2,0 +45g + 0,25 + 0,45 g + 0,25	VA + NA + NA	27,4	16,6
2020	Celina	Centium + Spectrum + Lentagran	0,25 + 0,9 + 2kg	VA + NA	41,6	13,3
2021	Frieda	Kontrolle			27,7	15,1
2021	Frieda	Gardo Gold	4	VA	34,0	20,0
2021	Frieda	Novitron DamTec	2,4	VA	39,2	16,2
2021	Frieda	Stallion SyncTec	3	VA	41,9	16,8
2021	Frieda	Bandur	4	VA	39,5	15,7
2021	Frieda	Centium 36 CS	0,25	VA	23,0	15,6
2021	Frieda	Spectrum Plus + Lentagran WP	2,5 + 2,0	VA + NA	39,1	11,3
2021	Frieda	Quantum	2	VA	27,2	13,2
2021	Frieda	Spectrum Plus + Clearfield Clentiga	2,5 + 0,75	VA + NA	34,4	
2021	Frieda	Spectrum Plus + Clearfield Clentiga + Dash	2,5 + 0,75 + 1	VA + NA	36,2	
2021	Frieda	Spectrum Plus + Lentagran WP + Mero	2,5 + 1,0 +1,0	VA + NA	38,7	
2021	Frieda	Gardo Gold + Lentagran WP	2,0 + 2,0	VA + NA	30,2	
2021	Frieda	Sencor Liquid	0,5	VA	21,5	
2021	Frieda	Metric	1,5	VA	27,0	
2021	Frieda	Spectrum Plus + Clearfield Clentiga + Dash	2,5 + 1,0 + 1,0	VA + NA		13,4
2021	Frieda	Spectrum Plus + Pulsar Plus	2,5 + 0,5	VA + NA		21,7
2021	Frieda	Spectrum Plus + Onyx	2,5 + 1,0	VA + NA		18,1
2021	Frieda	Spectrum Plus + Lentagran WP	2,5 + 1,35	VA + NA		13,9
2021	Frieda	Novitron DamTec + Spectrum plus	1,5 + 1,5	VA		20,5
2021	Frieda	Stomp Aqua + Gardo Gold	2,0 + 2,0	VA		19,6
2022	Frieda	Kontrolle	-	-	33,5	24,1
2022	Frieda	Spectrum Plus + Boxer	2,5 + 2,0	VA	30,9	22,6
2022	Frieda	Spectrum Plus + Boxer + Centium 36 CS	2,5 + 2,0 + 0,2	VA	31,1	23,7
2022	Frieda	Spectrum + Centium 36 CS	0,8 + 1,5 + 0,2	VA	31,5	24,5
2022	Frieda	Spectrum + Centium 36 CS + Lentagran WP	0,8 + 0,2	VA	31,2	23,0
2022	Frieda	Spectrum Plus + Lentagran WP	0,8 + 0,2 + 1,0	VA + NA*	29,6	22,1
2022	Frieda	Spectrum Plus + Lentagran WP	2,5 + 2,0	VA + NA	28,7	22,8
2022	Frieda	Spectrum Plus + Lentagran WP	2,5 + 1,0	VA + NA	30,8	22,8
2022	Frieda	Stallion SyncTec	3	VA	32,9	22,4
2022	Frieda	Centium 36 CS	0,25	VA	32,4	22,2
2022	Frieda	Dual Gold + Boxer + Centium 36 CS	1,0 + 2,0 + 0,2	VA	32,5	23,3
2022	Frieda	Spectrum Plus + Boxer + Clentiga + Dash**	2,5 + 2,0 + 1,0 + 1,0	VA + NA	32,1	21,4

In Tabelle 16 sind die Herbizide aufgeführt, für die aktuell eine Zulassung in der Weißen Lupine vorliegt.

Tab. 16: Liste der in der Weißen Lupine zugelassene Herbizide (Stand Dezember 2022)

Handelsbezeichnung	Zul.Nr	Ende Zul.	Wirkstoff	Termin	Aufwandmenge	Wirkspektrum	Wartezeit
Centurion	024366-60	31.12.2024	Clethodim	NA	0,5 l/ha	einjährige einkeimblättrige Unkräuter	
Select 240 EC	024366-00	31.12.2024	Clethodim	NA	0,5 l/ha	einjährige einkeimblättrige Unkräuter	
Balista Super	00A501-60	31.12.2024	Fluazifop-P	NA	0,8 bis 1,6 l/ha	einjährige einkeimblättrige Unkräuter, Ausfallgetreide	90 Tage
Flua Power	00A501-00	31.12.2024	Fluazifop-P	NA	0,8 bis 1,6 l/ha	einjährige einkeimblättrige Unkräuter, Ausfallgetreide	90 Tage
PHYTAVIS Varlega	00A501-61	31.12.2024	Fluazifop-P	NA	0,8 bis 1,6 l/ha	einjährige einkeimblättrige Unkräuter, Ausfallgetreide	90 Tage
TRIVKO	024847-61	31.12.2024	Fluazifop-P	nicht für die Erzeugung von Nahrungsmitteln			
Stomp Aqua	005958-00	30.06.2023	Pendimethalin	VA	2,6 l/ha	einjährige zweikeimblättrige Unkräuter ausgenommen: Kletten-Labkraut, Kamille-Arten	
Stomp Raps	005958-60	30.06.2023	Pendimethalin	VA	2,6 l/ha	einjährige zweikeimblättrige Unkräuter ausgenommen: Kletten-Labkraut, Kamille-Arten	
Spectrum Plus	006889-00	31.12.2027	Pendimethalin + Dimethenamid-P	VA	4,0 l/ha	einjährige einkeimblättrige Unkräuter, einjährige zweikeimblättrige Unkräuter, Schadhirsen	
Boxer	033838-00	30.04.2023	Prosulfocarb	VA	5,0 l/ha	Ackerfuchsschwanz, Gemeiner Windhalm, einjähriges Rispengras, einjährige zweikeimblättrige Unkräuter	
Filon	033838-60	30.04.2023	Prosulfocarb	VA	5,0 l/ha	Ackerfuchsschwanz, Gemeiner Windhalm, einjähriges Rispengras, einjährige zweikeimblättrige Unkräuter	
InnoProtect Boxer	033838-62	30.04.2023	Prosulfocarb	VA	5,0 l/ha	Ackerfuchsschwanz, Gemeiner Windhalm, Einjähriges Rispengras, einjährige zweikeimblättrige Unkräuter	
Phytavis Defi	033838-61	30.04.2023	Prosulfocarb	VA	5,0 l/ha	Ackerfuchsschwanz, Gemeiner Windhalm, einjähriges Rispengras, einjährige zweikeimblättrige Unkräuter	
Lentagran WP	033231-00	28.02.2023	Pyridat	NA	2,0 kg/ha	einjährige zweikeimblättrige Unkräuter nur in gelber Lupine zugelassen	

Mechanische Unkrautbekämpfung

Die mechanische Unkrautbekämpfung wurde 2021 mit in die Anbauversuche aufgenommen. Geprüft wurde der ein- und zweimalige Einsatz der Hackmaschine (Abb. 16). Aufgrund sehr hoher Verunkrautung konnte keine Beerntung des Versuchs stattfinden. Der Unkrautdeckungsgrad (UK DG) konnte erwartungsgemäß mit zweimaligen Hacken stärker reduziert werden als mit dem einmaligen. So lag der mittlere UK DG in den Kontrollparzellen bei 87,5 %, gefolgt von 80 % nach einmaligem Hacken und 70 % nach zweimaligen Hacken. Eine ausreichende Unkrautkontrolle konnte aber allein durch die Hackmaschine nicht erreicht werden.

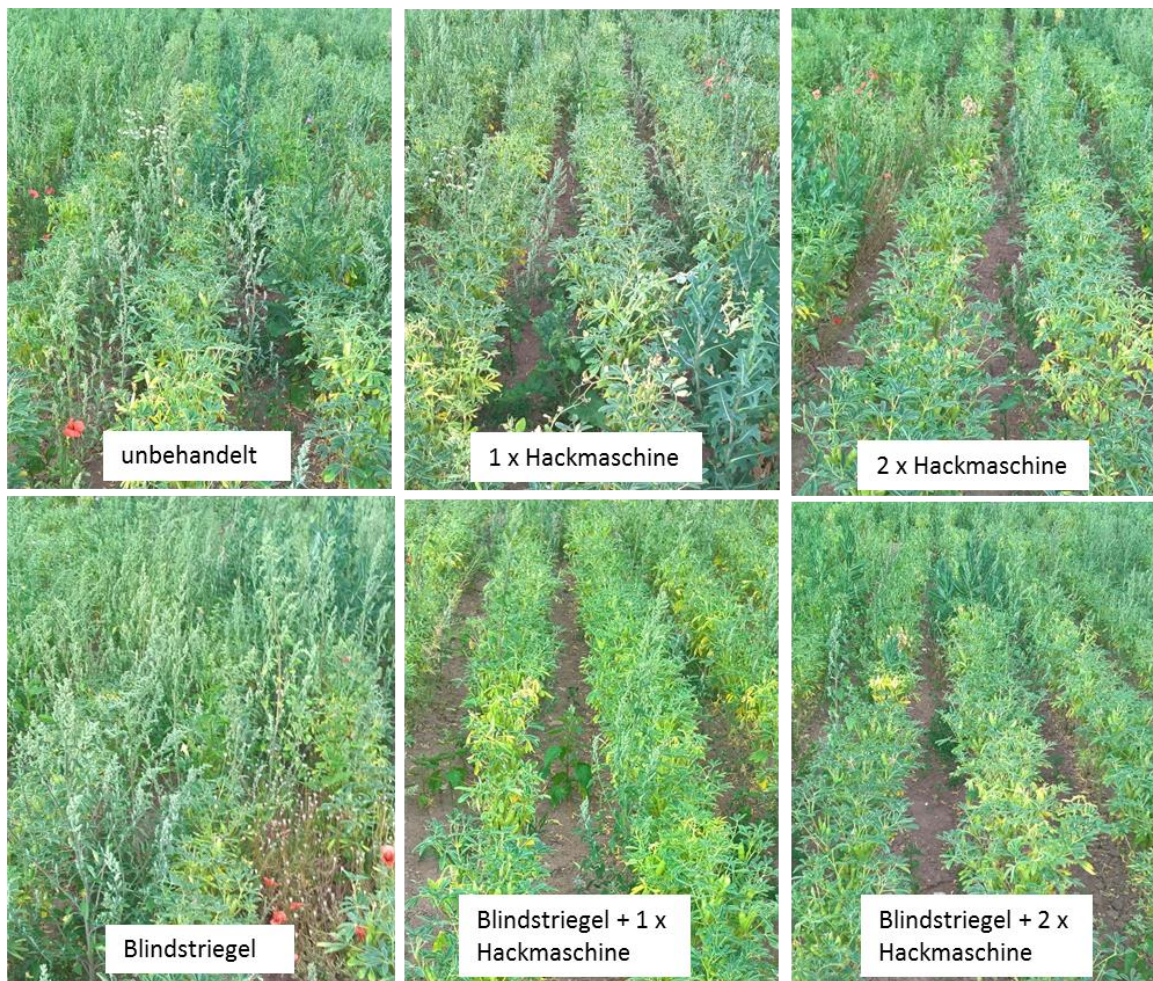


Abb. 16: Fotos der Varianten im mechanischen Unkrautbekämpfungsversuch in der Weiße Lupine in Bingen vom 20.06.2022 (eigene Aufnahme).

2022 wurde die mechanische Unkrautbekämpfung um das Blindstriegeln erweitert. In Tabelle 17 sind die Ergebnisse dieses Versuchs aufgeführt. Das Blindstriegeln beeinträchtigte den Pflanzenaufbau nicht. Der Unkrautdeckungsgrad konnte durch die Kombination von Blindstriegeln und einmaligen Hacken auf 30 % reduziert werden. Das Blindstriegeln allein brachte mit 80 % UKDG im Vergleich zu 85 % UKDG in der Kontrolle keine deutliche Reduktion der Verunkrautung. Die Erträge unterschieden sich wenig voneinander. Die Feuchte der Lupinensamen zur Ernte war von der Verunkrautung beeinflusst.

Tab. 17: Mechanische Unkrautkontrollvarianten in der Weißen Lupine 2022

VG	mechanische Unkrautkontrolle	Pflanzen/ m ²	mittlerer UK DG [%]	Ertrag [dt/ha bei 86 % TS]	MW Feuchte [%]
1	unbehandelt	74,0	85,0	20,3	22,4
2	Hackmaschine (HM) T1	72,7	50,0	21,3	18,7
3	Hackmaschine T1 + T2	68,7	40,5	20,3	16,0
4	Blindstriegel	73,0	80,0	21,8	22,0
5	Blindstriegel + Hackmaschine T1	91,0	30,4	20,3	18,3
6	Blindstriegel + Hackmaschine T1 + T2	67,7	50,1	20,2	18,5

Es zeigte sich eine deutliche Reduktion des Unkrautdeckungsgrades (UK DG) durch das Hacken. Mit zweimaligen Hacken konnte er von 85 auf 41 % reduziert werden. Auch die Kombination aus Blindstriegel und Hackmaschine erwies sich mit einem verbleibenden UK DG von 30 % als wirkungsvoll. Bei den Erträgen schlug sich dies jedoch nicht nieder. Diese waren nach einmaligem Hacken und den alleinigen Einsatz des Blindstriegels etwas höher und glichen sonst dem Ertrag der unbehandelten Kontrolle.

Wachstumsregerversuch

Zur Vermeidung von kopplastigen und damit für Lager anfälligen Weiße Lupinen bei kontinuierlich guten Wachstumsbedingungen, wurde der potentielle Nutzen von Wachstumsreglern in dieser Kultur in allen drei Projektjahren untersucht. Drei im Raps zugelassene Produkte wurden angewandt und ihre Auswirkung auf die Pflanzenhöhe, die Lagerbildung, den Ertrag und die Kornfeuchte geprüft (Tab. 18). Der Blockversuch wurde auf einer bewässerten Fläche (Tropfschlauchbewässerung) in Bingen angelegt. 2020 mit der Sorte „Celina“, 2021 und 2022 mit der Sorte „Frieda“.

Tab. 18: Varianten, Aufwandmengen und Mittelwerte aus drei Versuchsjahren der Ertragsparameter im Wachstumsreglerversuch der Weißen Lupine

VG	Produkt	[l/ha]	Höhe [cm]	Lager [%]	Ertrag [dt/ha]	Feuchte [%]
1	Ohne		69,4	30,8	42,4	12,4
2	Caramba	0,75	65,8	19,1	45,1	12,5
3	Caramba	1,5	68,7	27,5	44,0	12,9
4	Caramba	0,75 + 0,75	65,6	18,6	46,0	12,8
5	Toprex	0,5	65,6	32,5	42,6	12,9
6	Carax	1,4	69,3	36,3	43,6	12,7

Die mittleren **Pflanzenhöhen** unterschieden sich zwischen den Versuchsjahren ($p < 0,001$). Am insgesamt niedrigsten waren die Pflanzen 2021 (\emptyset 62,0 cm), gefolgt von 2020 mit \emptyset 67,9 cm. Am höchsten waren sie 2022 mit \emptyset 72,5 cm. Zwischen den Varianten lagen keine Unterschiede vor ($p = 0,272$). Ähnlich verhielt es sich mit der **Lagerbildung**. Diese unterschied sich signifikant zwischen den Jahren und korrespondierte mit den Pflanzenhöhen. So war 2021 mit durchschnittlich 1,3 % Lager das Jahr mit der geringsten Lagerbildung, gefolgt von 2020 mit 20 % Lager und 2022 mit 61,3 % Lager. Wieder lagen keine Unterschiede zwischen den Varianten vor ($p = 0,247$).

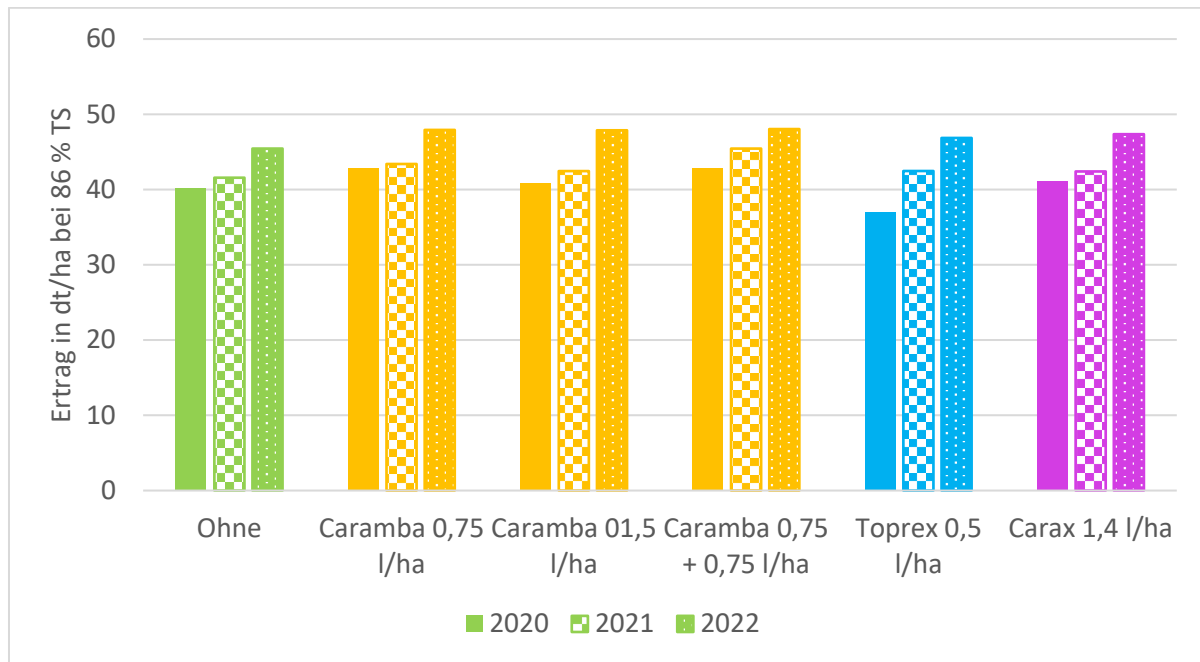


Abb. 17: Kornerträge der Weißen Lupine in Abhängigkeit des Jahres und der Wachstumsregler-Behandlung.

Die unterschiedlichen Wachstumsregler hatten keinen signifikanten Einfluss auf den **Ertrag** [dt/ha] ($p=0,183$) (Abb. 17). Unterschiede lagen zwischen den Jahren vor, wobei 2020 am ertragsschwächsten war (40,6 dt/ha), gefolgt von 2021 (43,0 dt/ha) und 2022 (47,2 dt/ha). Demnach schadete die hohe Lagerbildung 2022 dem Ertrag nicht. Hinsichtlich der **Feuchte** konnte kein Einfluss der Wachstumsregler nachgewiesen werden ($p=0,413$). Allerdings lagen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren vor ($p>0,001$). Die niedrigsten Feuchtegehalte mit durchschnittlich 10,7 % wurden 2020 gemessen. 2022 lagen die Feuchtegehalte bei durchschnittlich 12,0 %. Im Jahr 2021 bei 14,9 %.

Zusammengefasst:

Die Auswertung der gesamten Projektlaufzeit ergab keine statistisch gesicherten Effekte von Wachstumsregler auf die Höhe, die Lagerneigung und den Ertrag der Weißen Lupine. Über alle Parameter hinweg erwies sich das Versuchsjahr als einflussreich, nicht aber die Behandlung mit den verschiedenen Wachstumsreglern. Es scheint keine der hier geprüften Wachstumsregler-Behandlung in der Weißen Lupine sinnvoll, da die Lagerbildung und die Erträge nicht wesentlich beeinflusst wurden.

Bor-Düngerversuch

2021 und 2022 wurden Versuche zur Bor-Düngung in der Weißen Lupine durchgeführt. Dabei wurden fünf Varianten getestet und ihr Einfluss auf Ertrag, Feuchte und die Lagerbildung untersucht (Tab. 19). Die Versuche fanden auf einer bewässerten Fläche (Tropfschlauchbewässerung) in Bingen mit der Sorte „Frieda“ statt.

Tab. 19: Varianten, Aufwandmengen und Mittelwerte der Ertragsparameter des Bor-Düngerversuchs aus beiden Versuchsjahren.

VG	Variante	(l/ha Produkt)		Ertrag [dt/ha, 86 % TS] ± SD			Feuchte [%] ± SD			Lager [%] ± SD		
		T1 (10 cm)	T2 (20 cm)									
1	ohne (Kontrolle)			46,8	±	3,8	12,6	±	2,9	25,6	±	32,5
2	Lebosol-Bor	1,5		46,5	±	1,8	12,8	±	2,4	31,3	±	37,9
3	Lebosol-Molybdän	0,25		47,1	±	1,9	13,1	±	2,2	46,6	±	41,8
	Lebosol-Bor	1,5	1,5									
	Lebosol-Molybdän	0,25	0,25									
4	Lebosol-Bor	1,5		46	±	2,3	13,1	±	2,4	36	±	39,9
	Lebosol-Molybdän	0,25										
	Lebosol-Silizium	0,75										
5	Lebosol-Bor	1,5	1,5	47,7	±	2	13,2	±	2,4	41,9	±	32,1
	Lebosol-Molybdän	0,25	0,25									
	Lebosol-Silizium	0,75	0,75									

Das **Ertragsniveau** unterschied sich nicht signifikant zwischen den beiden Versuchsjahren ($p=0,541$). Auch konnte kein signifikanter Einfluss der Bor-Düngungen auf den Ertrag der Weißen Lupine nachgewiesen werden ($p=0,756$). Die **Feuchte** lag im Durchschnitt bei 13,0 % und unterschied sich nicht zwischen den Varianten ($p=0,382$), wohl aber zwischen den Jahren. So war das Lupinen Erntegut 2021 signifikant feuchter als im Jahr 2022 ($p<0,001$). Auch auf die **Lagerbildung** hatte die Bor-Düngung keinen signifikanten Einfluss ($p=0,584$). Sie unterschied sich zwischen den Jahren und war 2022 signifikant stärker ausgeprägt als 2021 ($p<0,001$). Der Standort des Jahres 2022 war ein Bormangelstandort. Dennoch war auch im Jahr 2022 kein Effekt der Bordüngung nachweisbar.

Zusammenfassend:

Die zweijährigen Versuche zur Bor-Düngung in der Weißen Lupine ergaben keinen ertragssteigernden und qualitätsverbessernden Effekt der Düngung. Eine potentielle Notwendigkeit einer Bordüngung müsste durch weitere Versuche geprüft werden.

Praxisanbau in Bibern

Auf Praxisflächen des Projektbetriebes in Bibern (Hunsrück, 400 m über N.N.) wurden in allen drei Projektjahren Weiße Lupinen angebaut (Abb. 18). Tabelle 19 fasst die Eckdaten des Anbaus zusammen.

Tab. 19: Anbaudaten der Weißen Lupine auf Praxisflächen in Bibern.

Jahr	Aussaat am:	Menge	Termin: Pflanzenschutz	Ernte am:	Ertrag in dt/ha	
2020					35 - 40	späte ungleiche Abreife
2021	02.04.	70 K/m ² (234 kg/ha)	09.04. VA: 3,1 l/ha Stomp Aqua + 3,0 l/ha Boxer	10.10.	43	19,8 % Feuchte
2022	21.03.	70 K/m ² (234 kg/ha)	26.03. VA: 2,0 l/ha Roxy + 3,0 l/ha Gator Aqua	14.08.	33	trocken



Abb. 18: Lupinenbestand zur Ernte auf der Praxisfläche in Bibern, 2021 (Aufnahme Nied).

Sorghum bicolor

Sortenversuch

Insgesamt wurden über die Projektlaufzeit 31 frühreife und niedrig wachsende Sorghum Sorten geprüft. 16 Sorten wurden in zwei oder allen drei Jahren untersucht (Tab. 21). In Tabelle 20 finden sich die zusammengefassten Daten der einmal angebauten Sorghum Sorten. Die mehrfach angebauten Sorten gingen in die nachfolgenden Auswertungen ein (Tab. 21). Es wurden jeweils Versuche auf den Standorten Bingen, Waldalgesheim/Weiler und Wörrstadt angelegt. Am Standort Weiler erforderte die Sorghumhirse im Jahr 2021 bei einem Spätfrost, so dass keine Datenauswertung möglich war. Weiter wurden die Versuche in Wörrstadt in allen drei Versuchsjahren wegen schlechter, lückenhafter Bestandsentwicklung nicht beerntet.

Tab. 20. Liste der Sorghum Sorten, die nur einmal während der Projektlaufzeit angebaut wurden.

Sorte	Jahr	Standort(e)	Pfl./m ²	Rispen/m ²	Höhe in cm	Ertrag dt/ha	Feuchte in %	TKM in g
Arigato	2022	3	34,0	14,7	112,9	11,1	35,2	26,0
ASM-CN-S1	2021	2	17,4	25,5	151,1	50,1	23,0	24,0
ASM-CN-S13	2020	1	18,0	-	-	-	-	-
ASM-CN-S9	2020	2	16,8	25,7	84,7	60,6	21,7	19,7
ASM-DS-D1	2022	3	24,3	18,7	87,3	38,6	23,3	17,3
ASM-DS-R1	2022	3	26,5	22,5	80,4	37,3	20,4	17,8
Balto CS	2020	3	24,8	35,0	96,7	40,2	21,8	28,2
Justus	2020	3	23,8	28,3	106,1	44,7	39,3	24,8
SO KSHOG50R	2022	3	29,7	25,0	89,1	52,5	15,6	16,4
Sorghum Panat	2022	3	27,0	24,5	91,9	54,1	16,6	22,7
STH18037	2021	2	21,8	26,0	137,5	63,3	27,4	24,9
STH18120	2020	3	19,9	26,7	99,3	35,3	41,6	16,8
STH20003	2022	3	31,6	20,5	85,7	45,0	21,9	19,9
STH20005	2021	1	22,0	25,7	120,3	36,8	35,1	28,2

Tab. 21: Durchschnittswerte der Ertragsparameter im Sortenversuch der Sorghumhirsen. *unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Sorten; ANOVA mit $\alpha=0,05$; Post-Hoc-Test Scheffé.

Sorte	n Jahre	n Standorte	Pflanzen/m ²	Rispen/m ²	Höhe in cm
Albanus	3	3	21,2 abc	30,6 a	99,6 cde
Arabesk	3	2	17,4 bc	31,8 a	115,2 ab
Arsky	3	3	20,4 abc	29,2 abc	93,5 de
Belluga	2	2	24,1 ab	34,1 a	99,1 de
Capello CS	2	3	21,6 abc	30,3 ab	114,7 abc
Coppertop	2	3	11,4 c	14,5 c	120,6 a
Diabolo	3	3	23,2 abc	26,9 abc	99,7 cde
ES Willy	2	3	20,6 abc	25,2 abc	102,7 bcde
Farmsugro180	2	2	13,7 bc	17,7 bc	121,0 a*
GK Emese	3	3	23,3 abc	25,8 abc	110,1 abcd
Iggloo	2	2	18,8 abc	35,6 a*	111,0 abcd
Lupus KWS	2	3	25,0 ab	28,3 ab	96,3 de
Oggana	2	2	23,5 abc	28,0 ab	109,5 abcd
RGT Dodge	3	3	24,3 ab	29,8 ab	94,0 e
RGT Huggo	3	3	29,9 a*	28,3 ab	94,3 e
RGT Icebergg	3	3	19,8 abc	28,8 ab	99,3 de

In den nachfolgenden Abbildungen 19 sind die Sorghum Sorten („RGT Huggo“ fehlt) kurz vor der Ernte 2021 fotografiert. Die Sorten „Albanus“, „Arabesk“, „Farmsugro 180“ und „RGT Icebergg“ sind weißkörnig. Aller anderen haben braune Körner.

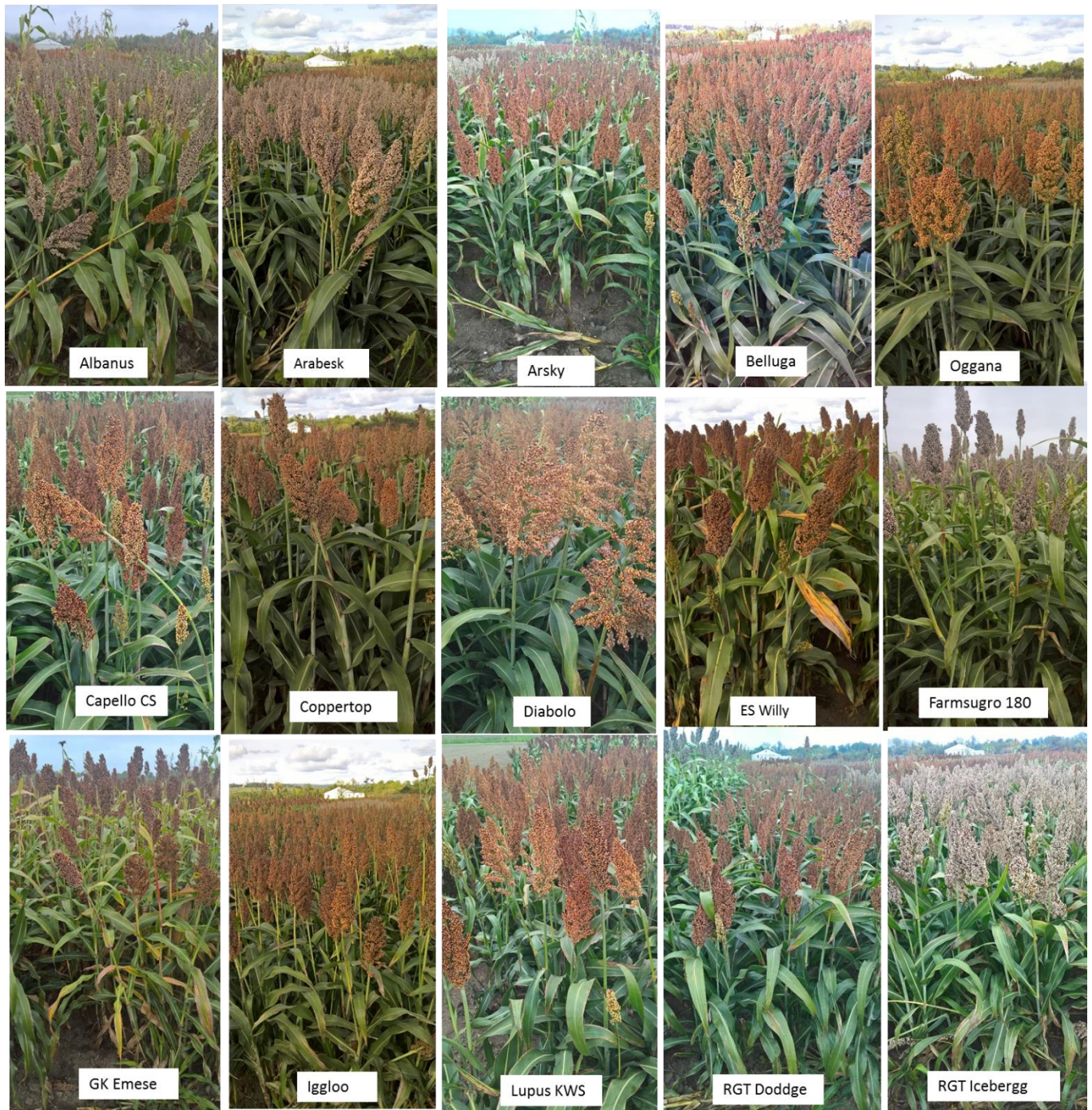


Abb. 19: Sorghum Sorten in Bingen 5.10.2021 (eigene Aufnahmen)

Die **Pflanzendichte** nach Aufgang wurde an allen Standorten und Jahren erfasst. Das Jahr hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Pflanzenzahlen ($p=0,054$). Im Mittel lag die Pflanzendichte 2021 bei 17,6 Pflanzen/m² (nasses, kaltes Frühjahr), im Jahr 2022 bei 23,2 Pflanzen/m² und im Jahr 2020 bei durchschnittlich 23,7 Pflanzen/m².

Der Standort hatte einen signifikanten Einfluss auf die Pflanzendichte ($p<0,001$). Am schlechtesten war der Auflauf in Wörrstadt mit nur 11,7 Pflanzen/m², gefolgt von Bingen und Waldalgesheim mit 27,1 bzw. 29,1 Pflanzen/m². Auch zwischen den Sorten gab es signifikante Unterschiede ($p=0,001$). Am schlechtesten lief die Sorte „Coppertop“ mit 11,4 Pfl./m² auf, gefolgt von „Farmsugro 180“ (13,7 Pfl./m²) und „Arabesk“ (17,4 Pfl./m²). Die Auflaufzahlen der Sorte „RGT Huggo“ waren mit

29,9 Pflanzen/m² am höchsten. Mit über 24 Pfl./m² zeigten auch die Sorten „Belluga“, „RGT Dodge“ und „Lupus KWS“ gute Werte.



Abb. 20: Sortenversuch in Waldalgesheim, 12. September 2022.

Die Daten legen nahe, dass neben der Sorte vor allem die vorherrschenden Standortbedingungen, vornehmlich die Bodenverhältnisse und Bodenfeuchte sowie die Saatbettbereitung für das Auflaufen der Sorghumhirse von Bedeutung ist.

Die **Rispenzahlen** variierten zwischen den Jahren, Standorten und Sorten und unterschieden sich signifikant voneinander (mit je $p < 0,001$). Die wenigsten Rispen wurden im Jahr 2022 (\emptyset 22,4 Rispen/m²) gebildet. In den Jahren 2021 und 2020 waren es mit 31,0 bzw. 32,6 Rispen/m² signifikant mehr. Der Standort wirkte sich auf die Rispenbildung gleichermaßen wie auf den Pflanzenaufbau aus. In Wörrstadt wurden mit durchschnittlich 12,3 Rispen/m² die signifikant wenigsten Rispen gebildet. In Bingen waren es im Schnitt 29,4 und in Waldalgesheim 32,3 Rispen/m². Die Sorte „Coppertop“ wies mit 14,5 Rispen/m² die geringste Rispenzahl auf; die Sorte „Iggloo“ mit 35,6 Rispen/m² die höchste. Ebenfalls mehr als 30 Rispen/m² bildeten die Sorten „Arabesk“, „Albanus“, „Belluga“ und „Capello CS“.

Die Mittelwerte der **Pflanzenhöhe** lagen zwischen 93,5 und 121,0 cm und unterschieden sich signifikant zwischen den Jahren, Standorten und Sorten (je $p < 0,001$). Im Jahr 2022 waren die Sorghum Pflanzen mit durchschnittlich 91,6 cm am niedrigsten, gefolgt von dem ebenfalls trockenen Jahr 2020 mit 101,6 cm und 2021 mit durchschnittliche 127,0 cm Pflanzenhöhe. Am Standort Wörrstadt waren die Pflanzen wiederum signifikant niedriger als in Waldalgesheim und Bingen (86,2 cm; 97,2 cm und 111,5 cm). Die höchsten Sorten mit mehr als 120 cm waren „Coppertop“ und „Farmsugro 180“. Über 100 cm hoch wurden die Sorten „ES Willy“, „Oggana“, „GK Emese“, „Iggloo“, „Capello CS“ und „Arabesk“. Die verbleibenden Sorten waren niedriger, wobei „RGT Dodge“ und „RGT Huggo“ die beiden niedrigsten Sorten waren. Die Ernte ist bis zu einer Wuchshöhe von 120 cm gut möglich.

Die **Kornerträge** der Sorghum Sorten nach Jahr und Standort sind in Abbildung 21 dargestellt. Aus Wörrstadt liegen keine Erntedaten vor; der Versuch in Waldalgesheim 2021 fiel einem Spätfrost zum Opfer, entsprechend liegen keine Erntedaten vor.

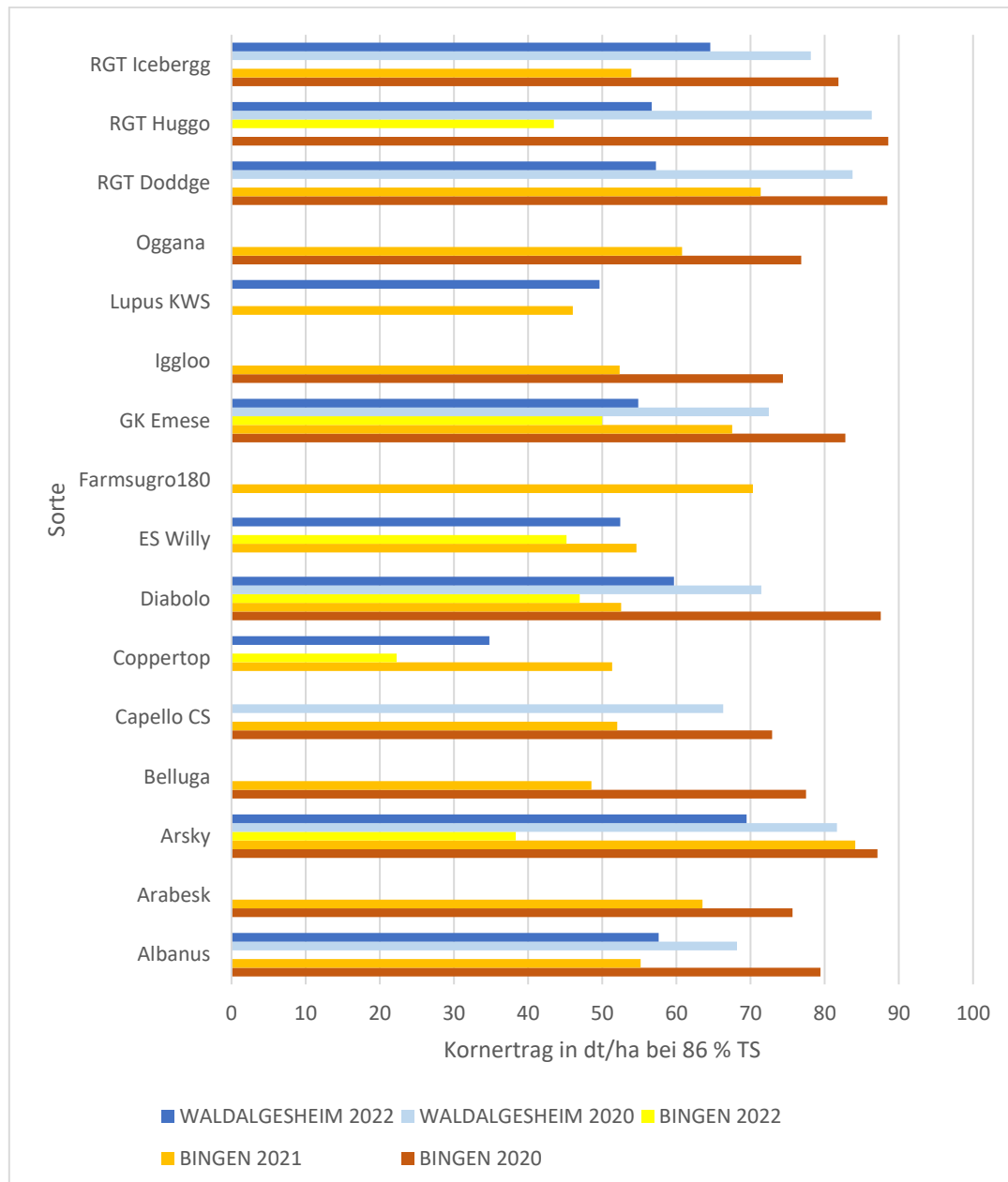


Abb. 21: Kornerträge von *Sorghum bicolor* [dt/ha bei 86 % Trockensubstanz] nach Sorte, Jahr und Standort.

Die Kornerträge unterschieden sich nicht signifikant zwischen den Standorten Bingen und Waldalgesheim ($p=0,078$), aber zwischen den Jahren und den Sorten (je $p<0,001$). Am niedrigsten waren die Erträge im Jahr 2022 mit durchschnittlich 51,0 dt/ha. 2021 lag der durchschnittliche Kornertrag bei 59,5 dt/ha und 2020 mit 79,1 dt/ha am höchsten. Der Durchschnittsertrag aus den drei Anbaujahren in Bingen lag mit 60,4 dt/ha über dem Ertrag in Waldalgesheim mit 55,7 dt/ha.

Die Erträge der Sorghum Sorten lagen während der gesamten Projektlaufzeit zwischen min. 22,3 dt/ha („Coppertop“ 2022 in Bingen) und max. 88,6 dt/ha („RGT Huggo“, 2020 in Bingen). Die ertragsreichsten Sorten waren „RGT Doddge“ ($\bar{\varnothing}$ 72,3 dt/ha), „Arsky“ ($\bar{\varnothing}$ 69,8 dt/ha) und „Arabesk“ ($\bar{\varnothing}$ 69,6 dt/ha). Eine Untergruppierung der Sorten war aufgrund der hohen Schwankungen statistisch nicht absicherbar.

Die Kornfeuchten als Reifekriterium sind in Tabelle 22 aufgeführt. Der Standort hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Kornfeuchte ($p=0,138$). Das Jahr beeinflusste den Feuchtegehalt der

Körner signifikant ($p < 0,001$). Erwartungsgemäß war die Kornfeuchte 2021 mit durchschnittlich 25,4 % am höchsten, gefolgt von 2020 mit durchschnittlich 21,0 %. Die geringsten Kornfeuchten wurden im Jahr 2022 gemessen. Sie lagen bei durchschnittlich 19,2 %. Auch zwischen den Sorten lagen signifikante Unterschiede bei der Kornfeuchte vor ($p < 0,001$). Die Kornfeuchten lagen zwischen min. 15 % („Iggloo“) und max. 25,6 % („Farmsugro 180“).

Tab. 22: Kornfeuchten in % der Sorghumhirse nach Sorte, Standort und Jahr. *unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Sorten; ANOVA mit $\alpha = 0,05$; Post-Hoc-Test Scheffé.

Sorte / Standort	2020		2021		2022		MW Sorte	Untergruppe $p < 0,05$
	Jahr Bingen	Waldalgesheim	Bingen	Bingen	Bingen	Waldalgesheim		
Albanus	17,9	29,4	24,8			17,5	22,4	bc
Arabesk	19,0		25,4				22,2	bc
Arsky	13,5	26,2	24,5	19,3		17,8	20,3	abc
Belluga	17,1		24,0				20,5	abc
Capello CS	14,9	28,8	25,9				23,2	bc
Coppertop			28,5	26,6		22,9	26,0	cd
Diabolo	17,0	29,9	26,7	20,5		17,0	22,2	bc
ES Willy			22,7	18,8		17,4	19,7	ab
Farmsugro180			31,2			20,0	25,6	d
GK Emese	14,3	26,7	25,7	21,2			22,0	bc
Iggloo	12,4		17,6				15,0	a*
Lupus KWS			24,9			16,2	20,5	abc
Oggana	15,6		25,3				20,4	abc
RGT Doddge	17,0	28,4	25,1			17,3	22,0	bc
RGT Huggo	17,2	29,3		25,3		16,1	21,9	bc
RGT Icebergg	16,8	29,7	27,8			16,9	22,8	bc
MW Standorte	16,1	28,5	25,3	21,9		17,9		
MW Jahre		21,1	25,3		19,4			

In Tabelle 23 sind die Saat- und Erntetermine der einzelnen Jahre und Standorte aufgeführt. Im kühleren und feuchteren Jahr 2021 war die Vegetationsdauer mit 165 Tagen in Bingen deutlich länger als in den beiden wärmeren, trockneren Jahren 2020 und 2022 mit 136 bzw. 127 Tagen.

Tab. 23: Saat- und Erntetermine nach Standort und Jahr der Sorghumhirse

Standort	Höhe (m über N.N.)	Jahr	Vegetations-		
			Aussaat	Ernte	tage
Bingen	88	2020	05.05.2020	18.09.2020	136
		2021	06.05.2021	18.10.2021	165
		2022	9.5./27.5.2022	05.10.2022	149/127
Waldalgesheim	280	2020	06.05.2020	12.10.2020	159
		2021	07.05.2021	-	-
		2022	11.05.2022	06.10.2022	148

Die Versuche am Standort Wörrstadt wurden nicht beerntet, da die Bestandsentwicklung in allen Jahren unzureichend war. Nach unseren Erkenntnissen lag dies vor allem an Schwierigkeiten bei der Aussaat. Nachfolgend zeigen die Bilder die Bestandslücken im Sortenversuch und auf den Praxisflächen (Abb. 22 und 23)



Abb. 22: Sortenversuch Wörrstadt, linke: 21.06.2022, rechts: 12.09.2022 (eigene Aufnahme).



Abb. 23: Praxisfläche in Wörrstadt 12.09.2022 (eigene Aufnahme).

Zusammenfassend:

Wie die Sortenversuche zeigten, ist der Sorghum-Anbau an den Standorten Bingen (88 m über N.N.) und Waldalgesheim (280 m über N.N.) möglich. Alle mehrfach getesteten Sorten erwiesen sich als frühreif und konnten beerntet werden. Das Ertragsniveau unterschied sich zwischen den Standorten, wobei vor allem im Jahr 2022 der Standort Bingen bedingt durch Krähenfraß nach Aufgang sehr schwach war. In den anderen Jahren lag Bingen ertraglich vor Waldalgesheim. Am Standort Bingen entwickelten sich alle Sorghumsorten 2020 und 2021 sehr gut und vergleichsweise zügig. Die Ernte war 2020 früh und bei frühreifen Sorten konnte Sorghum trocken geerntet werden. Die Erträge lagen bei einigen Sorten bei 85 dt/ha. Die Ernte am höher gelegenen Standort Waldalgesheim war 2020 deutlich später (5 Wochen). Nicht alle Sorten wurden reif. Allerdings lagen frühreife Sorten bei einem Ertrag von 80 dt/ha. Die Kornfeuchte war allerdings durchweg hoch. Die Anbauwürdigkeit in Bingen scheint gegeben. Bei einer Höhenlage von 280 m hingegen wird eine sichere Abreife nicht immer erreicht. Im dritten Projektjahr entwickelten sich die Sorghumsorten auch auf dem Standort in Waldalgesheim zufriedenstellend und konnten mit durchschnittlich 17,9 % Feuchte geerntet werden, so dass auch dieser Standort bei der warmen Witterung des Jahres 2022 für den Sorghum-Anbau geeignet scheint.

Als ertragreich und –stabil, ausreichend frühreif und niedrig wachsend können die Sorten „RGT Dodge“, „Arsky“ und „Arabesk“ genannt werden.

Saatstärkeversuch Sorghum

Insgesamt acht Varianten wurden im Standraumversuch in allen drei Projektjahren getestet (Tab. 24). Sie umfassten vier Saatstärken in der Drillsaat, sowie wie zwei Saatstärken im Einzelkornsaatverfahren mit weitem (50 cm) und geringerem (25 cm) Reihenabstand. Die Zählung der Pflanzendichte erfolgte mit dem Zählrahmen bzw. an 2,0 m Reihe bei den Einzelkornsaatvarianten (Tab. 24).

Tab. 24: Varianten des Standraumversuchs in Sorghum mit mittleren Pflanzendichten, Erträgen und Feuchtegehalten.

VG	Saattechnik	K/m ²	Reihen- abstand	Pflanzendichte [Pfl./m ²]	Ertrag [dt/ha]			Ø	Feuchte [%]
					2020	2021	2022		
1	Drillsaat	25	15	22,3 cd	88,6	84,4	51,9	74,9	20,5
2	Drillsaat	30	15	33,4 ab	89,4	97,1	51,8	79,4	20,1
3	Drillsaat	37,7	15	36,5 ab	89,1	97,7	52,1	79,6	20,3
4	Drillsaat	43	15	41,6 a*	88,4	90,1	46,1	74,9	20,1
5	EKS	37,7	25	31,2 bc	89,5	92,1	48,2	76,6	19,9
6	EKS	37,7	50	16,7 d	83,3	81,6	50,7	71,9	19,6
7	EKS	30	25	22,1 cd	90,3	103,7	52,8	82,3	20,9
8	EKS	30	50	13,0 d	86,8	95,2	53,7	78,6	20,5

Die Pflanzendichte unterschied sich signifikant zwischen den Jahren ($p=0,025$) und den Varianten ($p<0,001$). Im Jahr 2021 war die Dichte mit durchschnittlich 24,8 Pfl./m² am geringsten, gefolgt vom Jahr 2022 mit durchschnittlich 27,2 Pfl./m² und dem Jahr 2020 mit 29,3 Pfl./m². Entsprechend der Aussaatstärken liefen in den Drillsaatvarianten mit höheren Aussaatstärken signifikant mehr Pflanzen auf als in den Varianten mit niedrigeren Aussaatstärken (Tab. 24). In den Einzelkornsaatvarianten mit 50 cm Reihenabstand wurden die wenigsten Pflanzen pro m² gezählt.

Der **Ertrag** unterschied sich sowohl zwischen den Jahren ($p<0,001$) wie auch zwischen den Varianten ($p=0,005$). Das Ertragsniveau war mit durchschnittlich 50,9 dt/ha im Jahr 2022 am niedrigsten. 2020 lag es bei durchschnittlich 88,2 dt/ha und damit signifikant höher. Nochmals höher waren die Erträge 2021 mit durchschnittlich 92,7 dt/ha. Eine Untergruppierung zwischen den Varianten war statistisch nicht möglich. Über alle Jahre hinweg erzielte die Einzelkornsaat mit 25 cm Reihenabstand und der Aussaatstärke von 30 Körner/m² den höchsten Durchschnittsertrag, gefolgt von den mittleren Drillsaatvarianten. Für die Einzelkorn- wie auch die Drillsaat sind die höheren Aussaatstärken von 37,7 bzw. 43 Körner/m² nicht zu empfehlen, da hier rückläufige Erträge verzeichnet wurden. Für den Anbau von Sorghumhirse erwiesen sich beide Saatverfahren als geeignet und erzielten vergleichbare Ergebnisse. Zu hohe Aussaatstärken führen zu rückläufigen Erträgen. Der Reihenabstand von 25 cm ist dem von 50 cm vorzuziehen.

Die **Kornfeuchte** war nicht durch das Saatverfahren ($p=0,996$) beeinflusst, unterschied sich aber signifikant zwischen den Jahren ($p<0,001$). Am niedrigsten war sie 2020 mit durchschnittlich 11,4 %, gefolgt von 21,9 % im Jahr 2022 und 27,5 % im Jahr 2021. Zwischen den Saatstärken lagen ebenfalls signifikante Unterschiede in der Kornfeuchte vor ($p=0,046$). Der anschließende Post-Hoc-Test ergab jedoch keine Untergruppierung der Varianten. Die höhere Saatstärke der Einzelkornsaat wies im Durchschnitt unabhängig vom Reihenabstand etwas geringere Kornfeuchten als die anderen Varianten auf. Insgesamt scheint die Kornfeuchte aber hauptsächlich von der Witterung abzuhängen.

Unkrautregulierung

In den Unkrautregulierungsversuchen der Sorghumhirse (Sorte „Arsky“) wurden jährlich angepasste Varianten geprüft. Insgesamt waren es 22 Varianten in den drei Jahren (Tab. 25).

Tab. 25: Übersicht der angewandten Unkrautregulierungsvarianten in *Sorghum bicolor* von 2020 bis 2022 mit Unkrautdeckungsgrad in % (UK DG) und Ertrag in dt/ha.

Variante	UK DG Juni %			Ertrag dt/ha		
	2020	2021	2022	2020	2021	2022
Ohne	86,3	91,3	79,3	47,8	8,0	26,5
einmal Hackmaschine	33,3	43,3	94,0	65,4	25,1	29,0
zweimal Hackmaschine	31,7	41,3	37,8	66,2	39,4	39,0
Bandapplikation 1,5 l/ha Bromoterb + Hackmaschine	10,0	-	-	79,0	-	-
1,5 l/ha Bromoterb einmal	0,8	-	-	81,4	-	-
2 x 0,75 l/ha Bromoterb	5,4	-	-	81,2	-	-
Bandapplikation 0,75 l/ha Bromoterb + Hackmaschine	7,1	-	-	81,4	-	-
0,75 l/ha Bromoterb	0,8	-	-	84,6	-	-
BA*200 g Arrat + zweimal Hackmaschine	-	5,0	33,7	-	77,8	44,4
200 g Arrat einmal flächig	-	3,8	10,5	-	80,0	39,3
2 x 100 g Arrat flächig	-	7,0	2,0	-	71,9	35,2
BA 200 g Arrat + einmal Hackmaschine	-	15,0	16,3	-	69,2	45,0
100 g Arrat	-	22,8	13,8	-	56,7	38,4
Merlin flexx 0,2 l/ha VA	-	46,3	-	-	26,2	-
Merlin flexx 0,4 l/ha VA	-	12,0	-	-	33,8	-
Merlin flexx 0,8 l/ha VA	-	1,5	-	-	3,6	-
Merlin flexx 0,2 l/ha NA	-	80,0	-	-	11,3	-
Merlin flexx 0,4 l/ha NA	-	60,0	-	-	15,8	-
Merlin flexx 0,8 l/ha NA	-	20,0	-	-	6,5	-
Callisto 0,5 l/ha VA	-	-	25,0	-	-	36,1

Der Unkrautdeckungsgrad wurde durch alle Regulierungsmaßnahmen reduziert und die Erträge gesteigert. Der Einsatz von Merlin flexx ist weder im Vor- noch im Nachauflauf in der Sorghumhirse möglich. Gleiches gilt für Adengo. Hier traten starke Kulturschäden auf (siehe Fotos in Abb. 24). Die Behandlung mit 0,8 l/ha Merlin flexx im Voraufbau ließ kein Sorghum auflaufen. Im Nachauflauf war die Wirksamkeit von 0,4 l/ha Merlin flexx schlecht und der Unkrautbesatz entsprechend hoch. Die höhere Dosierung von 0,8 l/ha Merlin flexx im Nachauflauf wirkte gegen die Verunkrautung, auch wuchs Sorghum, jedoch war der Bestand lückig und deutlich in seiner Entwicklung verzögert. Das Herbizid ist für Sorghum nicht geeignet.

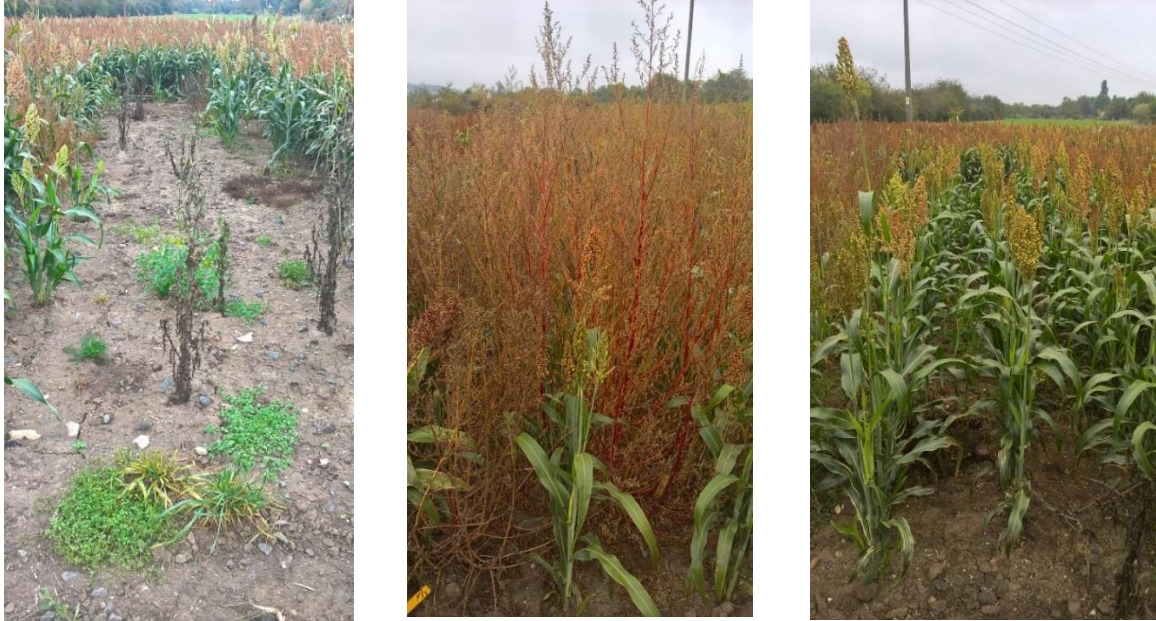


Abb. 24: Herbizidversuch am 5.10.2021, links : Merlin flexx 0,8 l/ha VA, mittig : Merlin flexx 0,4 l/ha NA; rechts: Merlin flexx 0,8 l/ha NA (eigene Aufnahmen).

Über alle drei Jahre hinweg wurde die rein mechanische Unkrautregulierung mit ein- und zweimaligen Hackmaschineneinsatz untersucht. Bei den chemischen Regulierungsmaßnahmen wurden die Behandlungen mit Arrat 2021 und 2022 durchgeführt, sowie 1,5 l/ha Callisto im Voraufbau.

Mechanische Unkrautregulierung:

Während der drei Projektjahre konnte ein signifikanter Einfluss des Jahres, wie auch der Regulierungsmaßnahme auf den **Unkrautdeckungsgrad** nachgewiesen werden ($p=0,002$ und $p=0,001$). Im Jahr 2020 war der Unkrautbesatz mit durchschnittlich 50,4 % am geringsten, gefolgt von 2022 mit durchschnittlich 71,6 % und 2021 mit dem höchsten Besatz von 82,6 %. Der Einsatz der Hackmaschine führte zu einem signifikanten Rückgang der Verunkrautung. Durch zweimaliges Hacken konnte die Verunkrautung auf \emptyset 50,2 %, durch das einmalige Hacken auf \emptyset 63,8 % reduziert werden. Der Besatz in der unbehandelten Kontrolle lag bei \emptyset 89,0 %. Korrespondierend hierzu verhielt sich der **Kornertrag**. Dieser war in unkrautreichen Jahren 2021 und 2022 signifikant niedriger als im Jahr 2020 ($p<0,001$; \emptyset 2021: 24,2 dt/ha; \emptyset 2022: 31,5 dt/ha; \emptyset 2020: 59,8 dt/ha). Der Einsatz der Hackmaschine führte zu signifikant höheren Erträgen ($p<0,001$). So lag der durchschnittliche Ertrag in der unbehandelten Kontrolle bei 27,5 dt/ha, nach einmaligen Hacken bei 40,1 dt/ha und nach zweimaligen Hacken bei 49,0 dt/ha (Abb. 25).

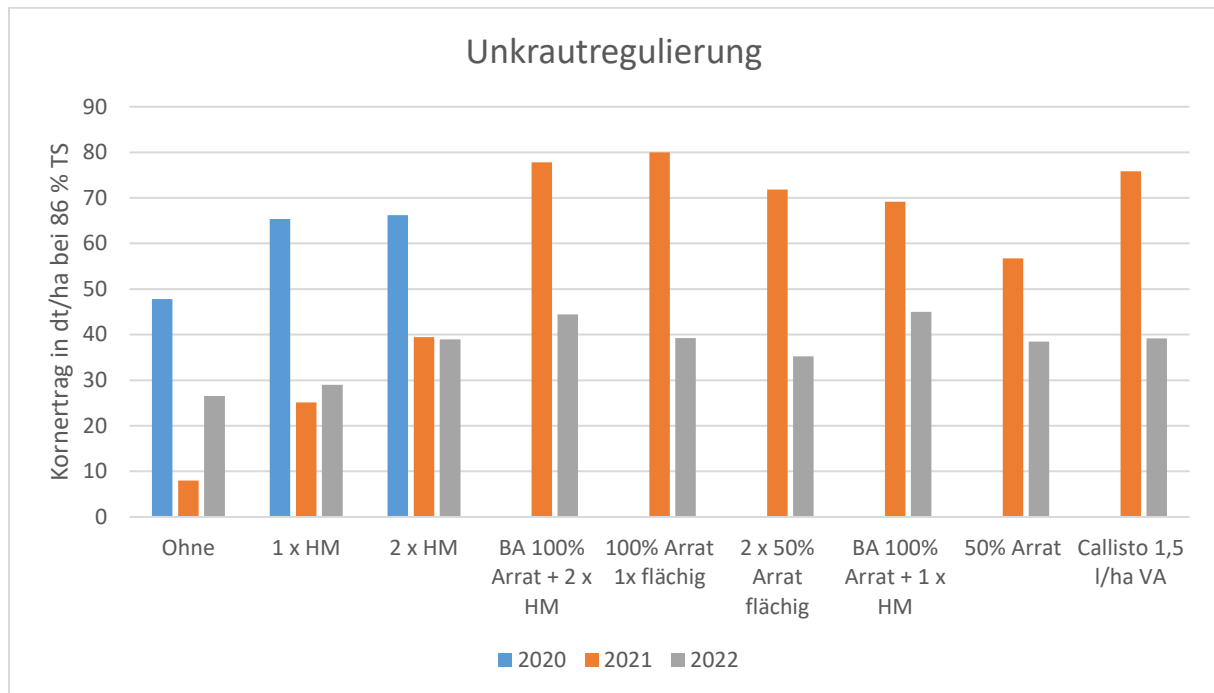


Abb. 25: Kornerträge von *Sorghum bicolor* der mechanischen und chemischen Unkrautregulierungsvarianten für die Jahre 2020 bis 2022

Die Auswertung der chemischen Varianten mit den Präparaten Arrat und Callisto zeigte keinen signifikanten Einfluss des Jahres auf den **Unkrautdeckungsgrad** ($p=0,431$). Alle Behandlungsvarianten reduzierten den Unkrautbesatz im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle signifikant ($p<0,001$). Zwischen den Herbizidmaßnahmen lagen keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Unkrautdeckungsgrades vor. Gleiches galt für den Ertrag. Dieser war in der unbehandelten Kontrolle signifikant geringer als in den behandelten Varianten ($p<0,001$) und unterschied sich nicht signifikant zwischen den Varianten. Das Ertragsniveau zwischen den Jahren unterschied sich signifikant. So waren die Erträge 2022 mit durchschnittlich 37,4 dt/ha signifikant geringer als 2021 mit durchschnittlich 56,0 dt/ha ($p<0,001$).

Demnach sind Arrat wie auch Callisto für eine erfolgreiche Unkrautkontrolle in Sorghumhirse geeignet. Callisto hat den Vorteil, teilweise auch Unkrauthirschen mit zu erfassen, während sich die Wirkung von Arrat auf dikotyle Unkräuter beschränkt. Witterungsbedingte Schäden von Callisto an der Sorghumhirse sind aber nicht auszuschließen. Die vollen Aufwandmengen von Arrat sind den reduzierten vorzuziehen. Eine Bandapplikation mit zusätzlichem Hackmaschineneinsatz wie auch eine flächige Behandlung sind gleichermaßen möglich. Die rein mechanische Unkrautregulierung war im Vergleich zu den erfolgreichen chemischen Varianten mit Ertragseinbußen verbunden.

N-Düngung

Der Düngungsversuch wurde in allen drei Projektjahren mit gleichen Düngestufen (Tab. 26) durchgeführt. In den ersten beiden Jahren wurde die Sorte „Arksy“ angebaut. Im Jahr 2022 die Sorte „Arigato“, hier entfiel die Beerntung, da die Sorte nicht abreifte. Darum fließen in die nachfolgende Auswertung nur die Daten aus 2020 und 2021 ein.

Tab. 26: N-Düngungsvarianten und Erträge der Sorghumhirse 2020 und 2021.

VG	N-Düngung (kg/ha N)	Ertrag in dt/ha		Ertrag in dt/ha		Feuchte in %		Feuchte in %	
		2020	SD	2021	SD	2020	SD	2021	SD
1	100	89,4	± 8,2	95,2	± 0,1	12,2	± 1,0	26,2	± 1,0
2	125	87,5	± 8,8	100,3	± 4,1	11,7	± 1,4	24,6	± 3,3
3	150	88,7	± 9,1	95,8	± 0,0	11,8	± 1,1	28,1	± 0,0
4	175	91,8	± 9,6	89,2	± 0,0	11,8	± 0,8	30,2	± 0,0
5	200	88,9	± 6,7	84,9	± 12,9	11,6	± 1,0	29,0	± 2,7

Weder das Jahr ($p=0,319$) noch die Düngestufe ($p=0,684$) hatten einen signifikanten Einfluss auf den **Ertrag** der Sorghumhirse. Die Erträge lagen 2020 bei durchschnittlich 89,3 dt/ha, 2021 bei 93,1 dt/ha. Die Kornfeuchte war 2021 mit durchschnittlich 27,6 % signifikant höher als 2020 mit 11,8 %. Die Düngestufe hatte keinen Einfluss auf den Feuchtegehalt der Körner.

Sorghum scheint recht effizient mit der N-Düngung umzugehen. Eine Düngung über 100 kg/ha N führte zu keiner Ertragssteigerung. In Abhängigkeit des Standortes und der Ertragserwartung kann eine abweichende N-Düngung notwendig sein. Eine Orientierung der N-Düngungshöhe nach dem N_{\min} Sollwertkonzept in der Höhe von insgesamt 160 kg/ha N (bei 80 dt/ha Ertrag) scheint empfehlenswert.

3.2 Arbeitspaket 3 und 4: Tierernährung (TH Bingen)

(A) Im Rahmen dieses Teilprojektes wurden Verdaulichkeitsexperimente zur Prüfung unterschiedlicher Futterrationen (mit signifikanten Anteilen an Lupine und Hirse) beim Geflügel in den Stallungen der TH- Bingen durchgeführt. Da sowohl Sorghum (Hirse) als auch die Lupine eine potenzielle Alternative zu herkömmlich eingesetzten GMO- Soja- und Körnermaisrationen in der Geflügelfütterung darstellt, wurden in den einzelnen Futterrationen Soja- und Körnermaisgehalte stufenweise durch Weiße Lupine und Sorghum (Hirse) substituiert. In diesen Untersuchungen wurden ebenfalls die Sorten, der Standort und die Anbaujahreseffekte dokumentiert.

A. Leistungs- und Verdaulichkeitsstudie 1: Auswirkungen eines stufenweisen Austauschs von Mais/Soja durch Hirse/Lupine

In nachfolgender tierexperimenteller Untersuchung sollen die Effekte eines stufenweisen Austausches einer Mais/Soja- gegenüber einer Hirse/Lupine- basierten Futterratur auf die Wachstumsleistung sowie der Energie- und Nährstoffverdaulichkeit bei Masthühnern verifiziert werden. Die Versuchsdurchführung erfolgt gemäß den Vorgaben des Tierwohls mit denen vom Landesuntersuchungsamt Rheinland-Pfalz genehmigten Einschränkungen für experimentelle Tierversuche (G18-20-021 E16).

Die Versuchsdauer erstreckte sich über einen Zeitraum von 5 Wochen (30.07.2020 bis 03.09.2020).

A. 1. Tiermaterial und Aufstallung

Insgesamt wurden 216 gesunde und vitale Eintagsküken (Cobb 500) einer deutschen Brüterei nach Gewicht balanciert, individuell gekennzeichnet (Flügelmarken) und randomisiert auf 9 Versuchsvarianten verteilt. Für diese tierexperimentelle Untersuchung standen 108 Stoffwechselbuchten für Broiler (Doppelbelegung) in einer klimatisierten Broileranlage an der Technischen Hochschule Bingen zur Verfügung (Abbildung 26).

Somit ergeben sich 24 Tiere (12 Buchten) je Variante. Nach dem 21. Versuchstag wurde die Doppelbelegung der Buchten auf 1 Tier pro Bucht reduziert, wodurch sich 12 Tiere pro Variante ab Tag 21 ergaben.



Abbildung 26: Klimatisierte Broileranlage der Technischen Hochschule Bingen (Foto: Petra Harig)

A. 2. Futterrationen und Inhaltsstoffe

Die Fütterung der Tiere erfolgte über Futterautomaten. Das Tränkewasser über Nippeltränken und die jeweiligen Futterrationen standen den Tieren über den 5- wöchigen Versuchszeitraum *ad libitum* zur Verfügung.

Als Basisfutter diente kommerzielles Broilerstarter- (Cobb 500-Starter, Tag 1-14) und Broilermastfutter (Cobb 500-Grower, Tag 15-35) der Mischfutterwerke Mannheim GmbH (MIFUMA). Für die verschiedenen Varianten wurde das Basisfutter mit den geschroteten Komponenten Soja, Mais, Lupine und Hirse aufgemischt. Die Zumischung der Komponenten und die Pelletierung der einzelnen Futterratten erfolgte im Futterzentrum der Technischen Hochschule in Bingen. Dabei wurde sowohl die Futterkomponente Mais in prozentualen Abstufungen durch Hirse ersetzt als auch Soja durch Lupine ausgetauscht. Es wurden zwei verschiedene Lupinensorten (Celina, Frieda) verwendet, um zusätzlich die Auswirkung des Alkaloidgehaltes auf die Leistungs- und Verdaulichkeitsparameter zu prüfen. Das Mais/ Hirse- und Soja/ Lupine- Mischverhältnis in den einzelnen experimentellen Futterratten kann der Tabelle 27 entnommen werden.

Tabelle 27: Mais/ Hirse- und Soja/ Lupine- Mischverhältnis der experimentellen Futterratten

Variante (mit Bezeichnung)	Mais	Hirse	Soja	Lupine	Lupine
	%	%	%	%	Sorte
A Mais/Soja [50:50]	100	0	100	0	---
B MS 67 % - HLF 33 %	66	33	66	33	Frieda
C HLF 67 % - MS 33 %	33	66	33	66	Frieda
D HLF [50:50]	0	100	0	100	Frieda
E MS 67 % - HLC 33 %	66	33	66	33	Celina
F HLC 67 % - MS 33 %	33	66	33	66	Celina
G HLC [50:50]	0	100	0	100	Celina
H MLF [50:50]	100	0	0	100	Frieda
I HS [50:50]	0	100	100	0	---

Abkürzungen: MS= Mais/Soja; HLF= Hirse/Lupine, Lupinensorte Frieda; HLC= Hirse/Lupine, Lupinensorte Celina; MLF= Mais/Lupine, Lupinensorte Frieda; HS= Hirse/Soja.

A. 3. Datenerfassung und Analysen

Die Futtermittelanalyse der wichtigsten Rohnährstoffe erfolgt nach der offiziellen Methode der VDLUFA (2007) [Trockenmasse: VDLUFA III 3.1; Rohprotein: VDLUFA III 4.1.1] im Labor der Technischen Hochschule Bingen.

Zudem erfolgte von Versuchstag 28 bis 33 eine Kotsammlung bei 6 Tieren pro Variante, um Verdaulichkeitsparameter bestimmen zu können. Die homogenisierten Kotproben wurden gefriergetrocknet und mit einem Vermahlungsgrad von 1 mm mit einer Labormühle (Dietz, Dettingen-Teck, Germany) vermahlen und auf den Stickstoffgehalt (N; nach VDLUFA III 4.1.1) und mittels eines Bombenkalorimeters (Model IKA C5003, IKA Werke GmbH, Staufen, Germany) auf den Gehalt an Bruttoenergie (BE) analysiert. Die analysierten N- und BE- Gehalte wurden zur Berechnung der Gesamtverdaulichkeit von N und BE verwendet:

$$\text{Gesamtverdaulichkeit (VQ)} = (\text{Aufnahme}_{N/BE} - \text{Ausscheidung}_{N/BE}) / \text{Aufnahme}_{N/BE} * 100$$

Um mögliche Einflüsse der Rationen auf die Kotkonsistenz der Tiere beurteilen zu können, wurde ein zusätzliches Kotscoreing bei 6 Tieren pro Variante durchgeführt (Beobachtungszeitraum über 4 Tage, Versuchstag 30 bis 33; 1= feucht, 2= normal, 3= trocken).

Über den gesamten Untersuchungszeitraum von 5 Wochen wurden die Einzeltiergewichte (24 Wiederholungen je Variante bis Versuchstag 21, 12 Wiederholungen je Variante von Tag 21 bis 35) wöchentlich mittels digitaler Waage erfasst. Die *ad libitum* Futterzuteilung erfolgte täglich. Die Futteraufnahme (FA) und Futterverwertung (FVW; 12 Wiederholungen je Variante bis Tag 21, 6 Wiederholungen von Tag 21 bis 35) wurde nach wöchentlicher Futterrückwaage je Broilerbucht berechnet.

Um den Gesundheitszustand der Tiere beurteilen zu können, erfolgte eine tägliche Tierkontrolle durch professionelles Personal. Jede Abweichung bezüglich des äußeren Erscheinungsbildes oder Verhaltens, die Stalltemperatur und Luftfeuchte wurden im Stallbuch dokumentiert. Falls sich ein Tier in einem schlechten gesundheitlichen Zustand befand und nach genauerer Beobachtung festgestellt wurde, dass sich dieser Zustand nicht verbessert hat, wurde es aus dem Versuch herausgenommen.

A. 4. Statistische Datenauswertung

Mithilfe des Statistikprogramms Statistika (Version 8.0, StatSoft) wurde eine Varianzanalyse (ANOVA) sowie zur genaueren Prüfung der Signifikanz ein Post-hoc-Test durchgeführt. Signifikante Unterschiede mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,05$ wurden durch unterschiedliche Kleinbuchstaben in den jeweiligen Ergebnistabellen gekennzeichnet.

A. 5. Ergebnisse und Auswertung

A. 5.1. Futterzusammensetzung

Die wichtigsten Rohnährstoffe des Broilerstarter- und des Broilermastfutters wurden nach VDLUFA-Vorschrift im Labor der Technischen Hochschule Bingen nach Weender- Analyse analysiert (siehe Tabelle 28).

Tabelle 18: analysierte Rohnährstoffgehalte (g/ kg Trockensubstanz) und die Bruttoenergie (MJ/ kg Trockensubstanz) im eingesetzten Futter

Variante	TM [g/kg]	XP [g/kg TM]	BE [MJ/kg TM]	
Starter				
A	Mais/Soja [50:50]	872	191	18,34
B	MS 67 % - HLF 33 %	889	206	18,68
C	HLF 67 % - MS 33 %	902	211	18,98
D	HLF [50:50]	899	226	19,49
E	MS 67 % - HLC 33 %	887	207	18,85
F	HLC 67 % - MS 33 %	895	220	19,25
G	HLC [50:50]	908	221	19,02
H	MLF [50:50]	902	225	19,48
I	HS [50:50]	886	202	18,31
Finisher				
A	Mais/Soja [50:50]	902	199	18,45
B	MS 67 % - HLF 33 %	893	209	18,81
C	HLF 67 % - MS 33 %	902	218	18,96
D	HLF [50:50]	902	233	19,49
E	MS 67 % - HLC 33 %	899	204	18,67
F	HLC 67 % - MS 33 %	899	218	19,03
G	HLC [50:50]	899	224	19,45
H	MLF [50:50]	914	229	19,41
I	HS [50:50]	906	197	18,23

Abkürzungen: TM= Trockenmasse, XP= Rohprotein, BE= Bruttoenergie, MS= Mais/Soja; HLF= Hirse/Lupine, Lupinensorte Frieda; HLC= Hirse/Lupine, Lupinensorte Celina; MLF= Mais/Lupine, Lupinensorte Frieda; HS= Hirse/Soja, g= Gramm, kg= Kilogramm.

A. 5.2. Gesundheitsstatus der Tiere

Die Kontrolle des Gesundheitszustandes der Broiler erfolgte täglich durch qualifiziertes Personal. Während der gesamten tierexperimentellen Studie wurde keine therapeutische oder präventive Behandlung vorgenommen. Die Tiere befanden sich über den gesamten Zeitraum in einem guten gesundheitlichen Zustand.

A. 5.3 Alkaloid-, Energie- und Rohnährstoffgehalte der eingesetzten Lupinesorten und der Hirse

Die von JenaBios GmbH mittels HPLC- MS/MS (N) bestimmten Alkaloidgehalte der unterschiedlichen Lupinesorten können der Tabelle 29 entnommen werden. In Tabelle 30 sind die vom Labor der Technischen Hochschule Bingen analysierten Rohnährstoffgehalte und die berechnete Bruttoenergie der Lupinesorten und der Hirse dargestellt.

Tabelle 29: Alkaloidgehalte der eingesetzten Lupinesorten, Energie-, Rohprotein-, Trockenmasse- und Rohfettgehalte von Lupinen und Hirse

	Lupine Celina	Lupine Frieda
Alkaloidgehalte		
Lupinin, [mg/ kg OS]	1600	540
Lupinin, [mg/ kg OS]	<10	<10
13- Hydroxylupinin, [mg/ kg OS]	170	94
Sparteïn, [mg/ kg OS]	11	<10
Angustifolin, [mg/ kg OS]	55	28

Abkürzungen: mg= Milligramm, kg= Kilogramm, OS= organische Substanz.

Tabelle 30: Energie- und Rohnährstoffgehalte der eingesetzten Lupinesorten und der Hirse

	Lupine Celina	Lupine Frieda	Hirse
Energie- und Rohnährstoffgehalte			
Bruttoenergie, [MJ/ kg OS]	18,86		16,27
Rohprotein, [g/ kg OS]	36,74		9,83
Trockenmasse, [g/ kg]	912,5	903,9	872,4
Rohfett, [g/ kg OS]	71,8	69,6	26,8

Abkürzungen: MJ= Megajoule, g= Gramm, kg= Kilogramm, OS= organische Substanz.

A. 5.4. Leistungsdaten

Die Leistungsdaten der Tiere werden in den Tabellen 31 bis Tabelle 34 dargestellt. Um die signifikanten Unterschiede zu verdeutlichen, werden in den jeweiligen Abbildungen die Entwicklungen der einzelnen Leistungsdaten abgebildet.

A. 5.4.1 Lebendmassen der Tiere

Die Lebendmassen der Broiler zeigten deutliche signifikante Unterschiede (Tabelle 31).

Tabelle 31: Effekte verschiedener Futterrationen auf die Lebendmasseentwicklung beim Broiler

LM, g/ Broiler	LM 0	LM 7	LM 14	LM 21	LM 28	LM 35
A Mais/Soja [50:50]	57 ± 5	186 ^a ± 19	415 ^a ± 78	724 ^a ± 154	1196 ^a ± 132	1829 ^a ± 208
B MS 67% - HLF 33%	57 ± 6	201 ^{abc} ± 24	471 ^{abc} ± 90	835 ^{abc} ± 181	1336 ^{ab} ± 155	1929 ^{ab} ± 191
C HLF 67% - MS 33%	57 ± 6	210 ^{bc} ± 22	509 ^{bcd} ± 83	928 ^{bcd} ± 170	1520 ^{bcd} ± 141	2234 ^{cd} ± 234
D HLF [50:50]	57 ± 6	223 ^c ± 25	569 ^d ± 80	1043 ^d ± 189	1674 ^{cd} ± 160	2394 ^d ± 212
E MS 67% - HLC 33%	57 ± 6	192 ^{ab} ± 20	451 ^{abc} ± 86	811 ^{ab} ± 181	1339 ^{ab} ± 138	2001 ^{abc} ± 193
F HLC 67% - MS 33%	57 ± 5	195 ^{ab} ± 36	513 ^{bcd} ± 94	959 ^{bcd} ± 193	1486 ^{bc} ± 194	2154 ^{bcd} ± 325
G HLC [50:50]	57 ± 5	211 ^{bc} ± 23	520 ^{bcd} ± 89	985 ^{cd} ± 162	1582 ^{cd} ± 111	2265 ^{cd} ± 173
H MLF [50:50]	57 ± 5	209 ^{bc} ± 29	529 ^{cd} ± 107	1047 ^d ± 130	1678 ^d ± 127	2308 ^d ± 203
I HS [50:50]	57 ± 5	185 ^a ± 22	440 ^{ab} ± 95	764 ^a ± 185	1216 ^a ± 155	1805 ^a ± 173
Standardfehler	0,361	1,823	6,798	13,951	21,631	28,191
P-Wert ¹	1,000	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

¹p-Wert basierend auf ANOVA (GLM), a, b,... Mittelwerte mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben sind signifikant unterschiedlich: $p < 0,05$ (post-hoc Tukey HSD).

Abkürzungen: LM= Lebendmasse, MS= Mais/Soja; HLF= Hirse/Lupine, Lupinensorte Frieda; HLC= Hirse/Lupine, Lupinensorte Celina; MLF= Mais/Lupine, Lupinensorte Frieda; HS= Hirse/Soja.

Broiler, welche sowohl Hirse/ Lupine- Sorte Frieda- (Variante D) als auch Mais/ Lupine-basierte Rationen (Variante H) gefüttert bekamen, wiesen signifikant höhere Gewichte verglichen mit den Varianten A (Mais/ Soja), B (Mais/Soja 67%-Hirse/ Lupine 33%) und I (Hirse/ Soja) auf (siehe Abbildung 27). Die Lebendmassen der Tiere der Varianten D und H befanden sich am Tag 35 in einem physiologisch normalen Bereich für Broiler der Rasse Cobb 500.

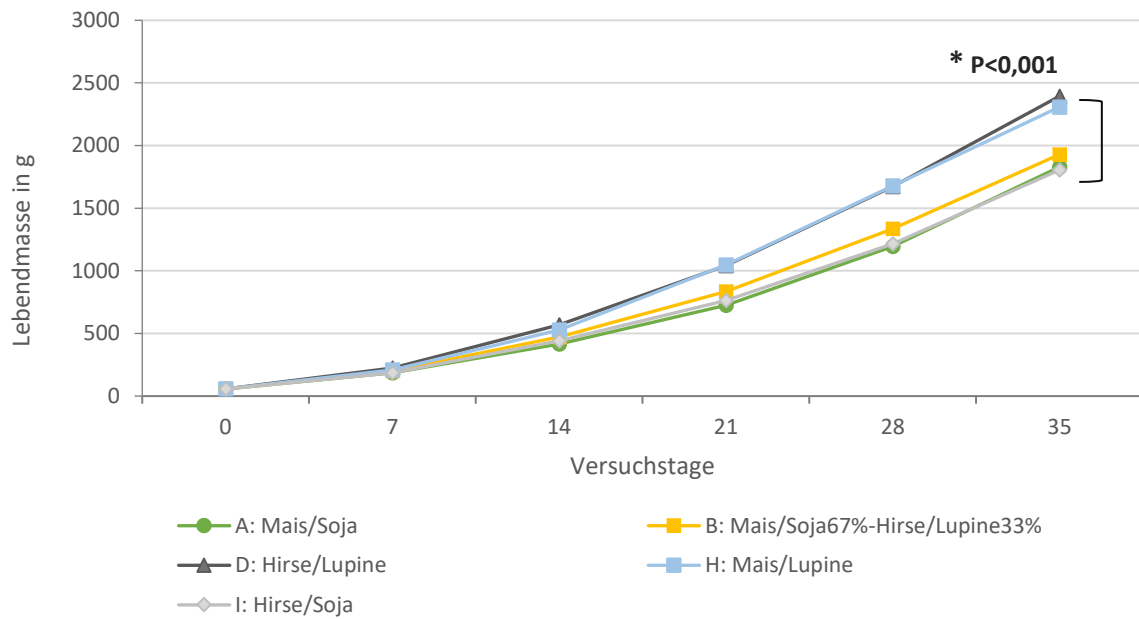


Abbildung 17: Entwicklung der Lebendmasse beim Broiler nach Fütterung verschiedener Futterrationalen

A. 5.4.2 Tägliche Zunahmen der Tiere

Die täglichen Zunahmen der Tiere zeigen ebenfalls wie die Gewichtsentwicklung signifikante Unterschiede auf (Tabelle 32).

Tabelle 32: Effekte verschiedener Futterrationalen auf die Tageszunahmen beim Broiler

TZ, g/ Broiler/ Tag		TZ (Tag 0-21)	TZ (Tag 21-35)	TZ (Tag 0-35)
A	Mais/Soja [50:50]	32 ^a ± 7	79 ^{ab} ± 10	70 ^a ± 7
B	MS 67% - HLF 33%	37 ^{abc} ± 9	78 ^{ab} ± 9	76 ^{ab} ± 7
C	HLF 67% - MS 33%	41 ^{bcd} ± 8	93 ^{bc} ± 13	87 ^{bc} ± 10
D	HLF [50:50]	47 ^d ± 9	96 ^c ± 11	93 ^{cd} ± 10
E	MS 67% - HLC 33%	36 ^{ab} ± 9	85 ^{abc} ± 11	77 ^{abc} ± 9
F	HLC 67% - MS 33%	43 ^{bcd} ± 9	85 ^{abc} ± 19	83 ^{bcd} ± 14
G	HLC [50:50]	44 ^{cd} ± 8	91 ^{bc} ± 12	90 ^c ± 9
H	MLF [50:50]	47 ^d ± 6	90 ^{abc} ± 16	90 ^c ± 14
I	HS [50:50]	34 ^a ± 9	74 ^a ± 7	70 ^a ± 9
Standardfehler		0,663	1,348	1,238
P-Wert ¹		<0,001	<0,001	<0,001

¹p-Wert basierend auf ANOVA (GLM), ^{a, b, ...} Mittelwerte mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben sind signifikant unterschiedlich: $p < 0,05$ (post-hoc Tukey HSD).

Abkürzungen: TZ= Tageszunahmen, MS= Mais/Soja; HLF= Hirse/Lupine, Lupinensorte Frieda; HLC= Hirse/Lupine, Lupinensorte Celina; MLF= Mais/Lupine, Lupinensorte Frieda; HS= Hirse/Soja.

Broiler, welche die Futterrationen D (Hirse/ Lupine), H (Mais/ Lupine) und G (Hirse/ Lupine- Sorte Celina) gefüttert bekamen, hatten signifikant höhere Tageszunahmen im Vergleich zur Variante A (Mais/ Soja), B (Mais/ Soja 67%- Hirse/ Lupine 33%) und I (Hirse/ Soja) (siehe Abbildung 28). Aber auch die Varianten C (Hirse/ Lupine 67%- Mais/ Soja 33%) und G (Hirse/ Lupine- Sorte Celina) wiesen numerisch höhere Lebendmassen und Tageszunahmen auf, was sich ebenfalls in den Ergebnissen der Futteraufnahmen widerspiegelt.

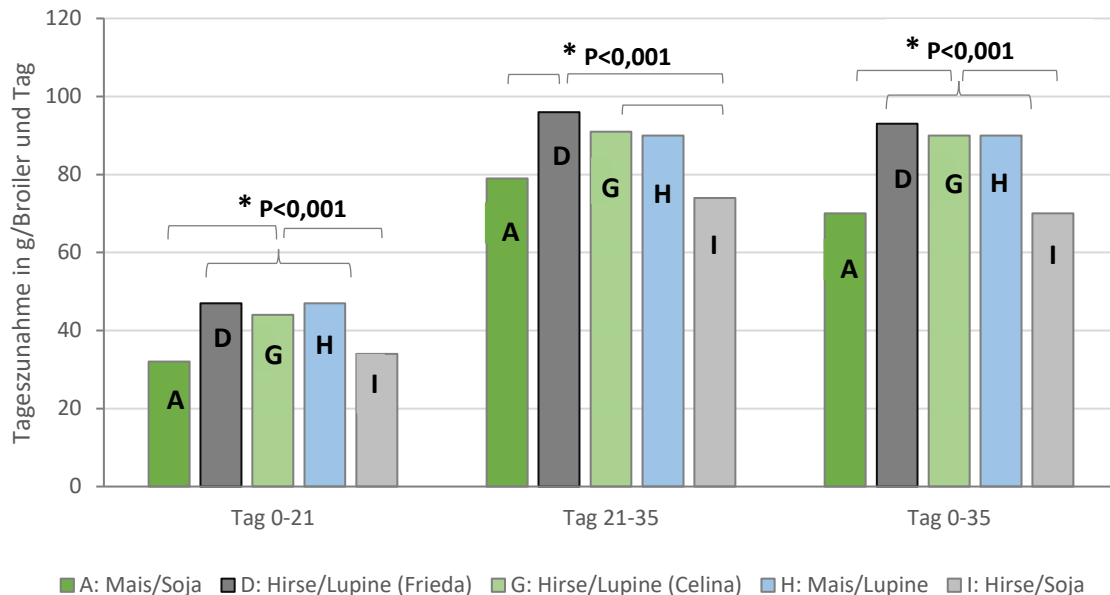


Abbildung 28: Entwicklung der Tageszunahmen beim Broiler nach Fütterung verschiedener Futterrationen

A. 5.4.3 Tägliche Futteraufnahmen der Tiere

Broiler, welche die Rationen D (Hirse/ Lupine- Sorte Frieda) und G (Hirse/ Lupine- Sorte Celina) vorgelegt bekamen, hatten signifikant erhöhte Futteraufnahmen verglichen mit den Varianten A (Mais/ Soja), B (Mais/ Soja 67%- Hirse/ Lupine 33%) und I (Hirse/ Soja), was für eine gesteigerte Akzeptanz des Futters spricht. Die Ration H (Mais/ Lupine) wurde ebenfalls in höheren Mengen gefressen, jedoch konnte dies nicht signifikant abgesichert werden. Aufgrund der signifikant höheren Lebendmassen und Tageszunahmen der Tiere in Variante H kann hier von einer gesteigerten Umsetzung des Futters im Tier ausgegangen werden verglichen mit Variante D (Hirse/ Lupine- Sorte Frieda) und G (Hirse/ Lupine- Sorte Celina) (Tabelle 33).

Tabelle 33: Effekte verschiedener Futterrationen auf die tägliche Futteraufnahme beim Broiler

TFA, g/ Broiler/ Tag	TFA (Tag 0-21)	TFA (Tag 21-35)	TFA (Tag 0-35)
A Mais/Soja [50:50]	46 ^a ± 4	122 ^{abc} ± 17	104 ^{ab} ± 10
B MS 67% - HLF 33%	50 ^{ab} ± 6	122 ^{ab} ± 15	109 ^{abc} ± 11
C HLF 67% - MS 33%	54 ^{ab} ± 9	141 ^{cd} ± 17	121 ^{cd} ± 13
D HLF [50:50]	58 ^b ± 7	147 ^d ± 10	127 ^d ± 12
E MS 67% - HLC 33%	49 ^{ab} ± 8	130 ^{abcd} ± 16	111 ^{abcd} ± 12
F HLC 67% - MS 33%	54 ^{ab} ± 10	138 ^{bcd} ± 15	118 ^{bcd} ± 16
G HLC [50:50]	55 ^{ab} ± 9	145 ^d ± 12	124 ^{cd} ± 9
H MLF [50:50]	57 ^b ± 9	139 ^{bcd} ± 16	123 ^{cd} ± 15
I HS [50:50]	46 ^a ± 8	118 ^a ± 12	102 ^a ± 12
Standardfehler	0,846	1,668	1,422
P-Wert ¹	<0,001	<0,001	<0,001

¹p-Wert basierend auf ANOVA (GLM), a, b, ... Mittelwerte mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben sind signifikant unterschiedlich: p < 0,05 (post-hoc Tukey HSD).

Abkürzungen: TFA= tägliche Futteraufnahme, MS= Mais/Soja; HLF= Hirse/Lupine, Lupinensorte Frieda; HLC= Hirse/Lupine, Lupinensorte Celina; MLF= Mais/Lupine, Lupinensorte Frieda; HS= Hirse/Soja.

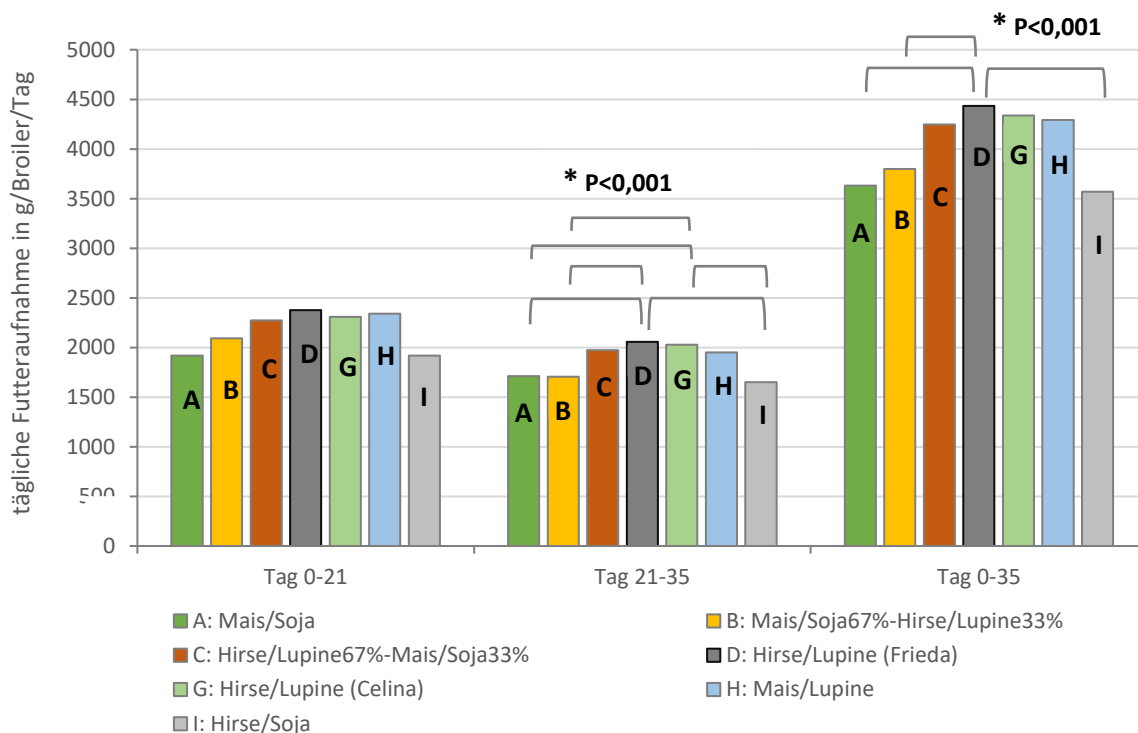


Abbildung 29: Entwicklung der Futteraufnahme je Phase beim Broiler nach Fütterung verschiedener Futterrationen

A. 5.4.4 Futterverwertung der Tiere

Aufgrund der höheren Tageszunahmen und der gesteigerten Futteraufnahme der Tiere der Varianten G (Hirse/ Lupine- Sorte Celina) und H (Mais/ Lupine), konnte die Futterverwertung der Broiler signifikant verbessert werden im Vergleich zur Variante A (Mais/ Soja), B (Mais/ Soja 67%- Hirse/ Lupine- Sorte Frieda 33%), E (Mais/ Soja 67%- Hirse/ Lupine- Sorte Celina 33%) und I (Hirse/ Soja) (Tabelle 34).

Tabelle 34: Effekte verschiedener Futterrationen auf die Futterverwertung beim Broiler

FVW, g Futter/ g Zuwachs		FVW (Tag 0-21)	FVW (Tag 21-35)	FVW (Tag 0-35)
A	Mais/Soja [50:50]	1,44 ^d ± 0,05	1,55 ± 0,06	1,49 ^c ± 0,04
B	MS 67% - HLF 33%	1,35 ^{bcd} ± 0,06	1,56 ± 0,12	1,43 ^{abc} ± 0,06
C	HLF 67% - MS 33%	1,31 ^{abc} ± 0,04	1,52 ± 0,08	1,40 ^{ab} ± 0,04
D	HLF [50:50]	1,27 ^{ab} ± 0,07	1,53 ± 0,12	1,37 ^a ± 0,06
E	MS 67% - HLC 33%	1,38 ^{cd} ± 0,08	1,53 ± 0,08	1,44 ^{abc} ± 0,05
F	HLC 67% - MS 33%	1,29 ^{abc} ± 0,06	1,70 ± 0,49	1,43 ^{abc} ± 0,09
G	HLC [50:50]	1,24 ^a ± 0,08	1,61 ± 0,22	1,39 ^{ab} ± 0,09
H	MLF [50:50]	1,24 ^a ± 0,05	1,56 ± 0,12	1,37 ^a ± 0,06
I	HS [50:50]	1,37 ^{cd} ± 0,13	1,59 ± 0,06	1,46 ^{bc} ± 0,07
Standardfehler		0,009	0,019	0,007
P-Wert ¹		<0,001	0,460	<0,001

¹ p-Wert basierend auf ANOVA (GLM), a, b, ... Mittelwerte mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben sind signifikant unterschiedlich: $p < 0,05$ (post-hoc Tukey HSD).

Abkürzungen: FVW= Futterverwertung, MS= Mais/Soja; HLF= Hirse/Lupine, Lupinensorte Frieda; HLC= Hirse/Lupine, Lupinensorte Celina; MLF= Mais/Lupine, Lupinensorte Frieda; HS= Hirse/Soja.

Die schematisch dargestellten Unterschiede der Futterverwertung der Tiere können der Abbildung 30 entnommen werden.

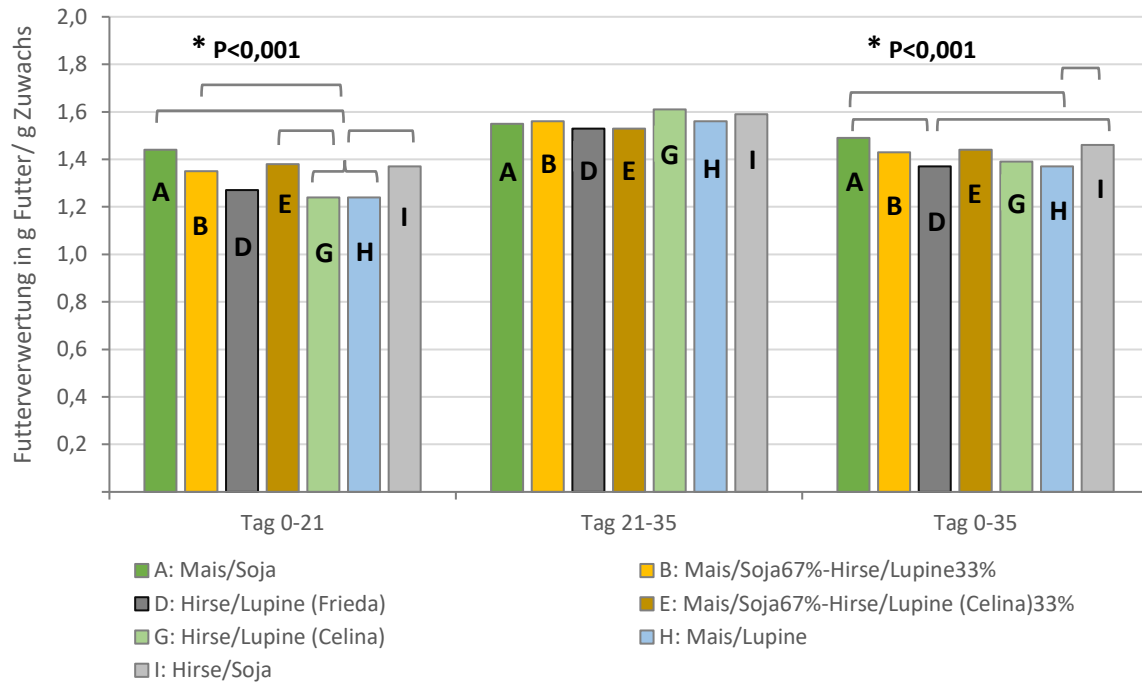


Abbildung 30: Entwicklung der Futterverwertung beim Broiler nach Fütterung verschiedener Futterrationen

Sowohl die Futterraufnahmen als auch die Futterverwertungen aller Broiler in der vorliegenden tierexperimentellen Studie befanden sich über den kompletten Versuchszeitraum in einem physiologisch normalen Bereich für Broiler der Rasse Cobb 500.

Die unterschiedlichen Alkaloidgehalte der beiden eingesetzten Lupinesorten hatten keine negativen Einflüsse auf die Leistungsparameter der Broiler.

A. 5.5 Verdaulichkeitsversuch

Die Daten des zwischengeschalteten Verdaulichkeitsversuchs werden in den Tabellen 9 bis Tabelle 12 dargestellt.

Von Versuchstag 28 bis 33 erfolgte eine zusätzliche quantitative Kotsammlung bei 6 Tieren pro Variante. Nach Bestimmung der Stickstoff- und Bruttoenergiegehalte sowohl im vorgetrockneten und gemahlten Futter als auch im Kot, wurden die N- und BE- Gehalte zur Berechnung der Gesamtverdaulichkeit von N und BE verwendet:

$$\text{Gesamtverdaulichkeit (VQ)} = \frac{(\text{Aufnahme}_{\text{N/BE}} - \text{Ausscheidung}_{\text{N/BE}})}{\text{Aufnahme}_{\text{N/BE}}} * 100$$

Zudem erfolgte über 4 Tage (Versuchstag 30 bis 33) ein Kotscoreing bei 6 Tieren pro Variante (1= feucht, 2= normal, 3= trocken), um mögliche Auffälligkeiten in der Kotkonsistenz feststellen und dokumentieren zu können.

A. 5.5.1 Bestimmung der Kotkonsistenz anhand eines Kotscorings (Versuchstag 28 bis 33)

In Tabelle 35 kann die Kotkonsistenz der Tiere am Versuchstag 30 bis 33 entnommen werden. Die verschiedenen Futterrationen hatten keinen negativen Einfluss auf die Beschaffenheit des Kots.

Tabelle 35: Effekte verschiedener Futterrationen auf die Kotkonsistenz der Broiler mittels eines Kotscorings (Versuchstag 28 bis 33)

Varianten	Kotkonsistenz Tag 30	Kotkonsistenz Tag 31	Kotkonsistenz Tag 32	Kotkonsistenz Tag 33
A Mais/Soja [50:50]	2,7 ± 0,5	2,6 ± 0,5	2,5 ± 0,5	2,5 ± 0,5
B MS 67% - HLF 33%	2,3 ± 0,5	2,5 ± 0,5	2,7 ± 0,5	2,5 ± 0,5
C HLF 67% - MS 33%	2,4 ± 0,5	2,3 ± 0,8	2,5 ± 0,5	2,7 ± 0,5
D HLF [50:50]	2,7 ± 0,8	2,5 ± 0,8	2,8 ± 0,4	2,6 ± 0,9
E MS 67% - HLC 33%	2,3 ± 0,8	2,5 ± 0,5	2,5 ± 0,5	2,5 ± 0,5
F HLC 67% - MS 33%	1,7 ± 0,8	2,2 ± 0,8	2,3 ± 0,5	2,5 ± 0,5
G HLC [50:50]	1,5 ± 0,8	1,6 ± 0,5	1,8 ± 0,4	1,8 ± 0,8
H MLF [50:50]	2,2 ± 1,0	2,0 ± 0,9	2,5 ± 0,5	2,4 ± 0,5
I HS [50:50]	2,3 ± 0,8	2,6 ± 0,5	2,5 ± 0,5	2,5 ± 0,5
Standardfehler	0,110	0,097	0,073	0,084
P-Wert ¹	0,133	0,304	0,122	0,507

¹p-Wert basierend auf ANOVA (GLM), a, b,... Mittelwerte mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben sind signifikant unterschiedlich: $p < 0,05$ (post-hoc Tukey HSD).

Kotscoreing (1= feucht, 2= normal, 3= trocken).

Abkürzungen: MS= Mais/Soja; HLF= Hirse/Lupine, Lupinensorte Frieda; HLC= Hirse/Lupine, Lupinensorte Celina; MLF= Mais/Lupine, Lupinensorte Frieda; HS= Hirse/Soja.

A. 5.5.2 Rohprotein- und Bruttoenergieaufnahme der Tiere (Versuchstag 28 bis 33)

Aufgrund des Einsatzes verschiedener Futterrationen ergaben sich über den Versuchszeitraum Tag 28 bis 33 unterschiedliche Futteraufnahmemengen der Broiler, welche die Differenzen in der Rohprotein- und Bruttoenergieaufnahme erklären (Tabelle 36). Die XP- und BE- Aufnahmemengen lagen dabei im physiologisch normalen Bereich eines 4 Wochen alten Broilers.

Die Tiere, welche die Ration C (Hirse/ Lupine 67%- Mais/ Soja 33%) vorgelegt bekamen, hatten eine signifikant höhere tägliche Futteraufnahme über die Versuchstage 28 bis 33 verglichen zur Variante I (Hirse/ Soja). Alle anderen Varianten befanden sich auf ähnlichem Niveau. Am meisten Rohprotein wurde dabei von den Broilern der Variante D (Hirse/ Lupine- Sorte Frieda) aufgenommen, wobei die Varianten C (Hirse/ Lupine 67%- Mais/ Soja 33%), G (Hirse/ Lupine- Sorte Celina) und H (Mais/ Lupine) ähnlich hohe XP- Aufnahmemengen aufwiesen. Höhere BE- Aufnahmemengen der Varianten C, D, G und H verglichen zur Variante I konnte statistisch abgesichert werden (Tabelle 36).

Tabelle 2: Effekte verschiedener Futterrationen auf die Protein- und Bruttoenergieaufnahme beim Broiler (Versuchstag 28 bis 33)

Varianten		Tägliche Futteraufnahme [g TM/ Tag]	Rohprotein- aufnahme [g/ Tag]	Bruttoenergie- aufnahme [MJ/ Tag]
A	Mais/Soja [50:50]	127 ^{ab} ± 23	28 ^a ± 5	2,34 ^{ab} ± 0,43
B	MS 67% - HLF 33%	125 ^{ab} ± 13	29 ^b ± 3	2,35 ^{ab} ± 0,24
C	HLF 67% - MS 33%	156 ^b ± 29	38 ^{cd} ± 7	2,96 ^b ± 0,55
D	HLF [50:50]	151 ^{ab} ± 14	39 ^d ± 4	2,94 ^b ± 0,26
E	MS 67% - HLC 33%	134 ^{ab} ± 21	30 ^{abc} ± 5	2,49 ^{ab} ± 0,39
F	HLC 67% - MS 33%	139 ^{ab} ± 14	34 ^{abcd} ± 3	2,65 ^{ab} ± 0,26
G	HLC [50:50]	153 ^{ab} ± 17	38 ^{cd} ± 4	2,98 ^b ± 0,33
H	MLF [50:50]	153 ^{ab} ± 17	38 ^{cd} ± 4	2,97 ^b ± 0,33
I	HS [50:50]	121 ^a ± 8	26 ^a ± 2	2,20 ^a ± 0,14
Standardfehler		2,902	0,852	0,060
P-Wert ¹		0,003	<0,001	<0,001

¹p-Wert basierend auf ANOVA (GLM), ^{a, b, ...} Mittelwerte mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben sind signifikant unterschiedlich: $p < 0,05$ (post-hoc Tukey HSD).

Abkürzungen: g= Gramm, TM= Trockenmasse, MJ= Megajoule, MS= Mais/Soja; HLF= Hirse/Lupine, Lupinensorte Frieda; HLC= Hirse/Lupine, Lupinensorte Celina; MLF= Mais/Lupine, Lupinensorte Frieda; HS= Hirse/Soja.

A. 5.5.3 Rohprotein- und Bruttoenergieausscheidung der Tiere (Versuchstag 28 bis 33)

Da die die Tiere aufgrund des Einsatzes verschiedener Futterrationen über den Versuchszeitraum Tag 28 bis 33 unterschiedliche Menge an Futter aufnahmen, wurde in den jeweiligen Varianten auch entsprechend weniger oder mehr Kot ausgeschieden. Ebenfalls können dadurch die Differenzen in der Rohprotein- und Bruttoenergieausscheidung erklärt werden (Tabelle 37).

Aufgrund der höheren Futteraufnahme der Tiere der Variante C (Hirse/ Lupine 67%- Mais/ Soja 33%) und H (Mais/ Lupine) im Zeitraum 28. bis 33. Versuchstag, wurden auch tendenziell höhere Kotmengen ausgeschieden. Broiler, welche die Futterrationen C und H erhielten, verzeichneten signifikant höhere Rohproteinausscheidungen im Vergleich zur Variante I (Hirse/ Soja). Am meisten Bruttoenergie wurde von den Tieren der Variante H über den Kot abgesondert (Tabelle 37). Die Tiere der Variante A (Mais/ Soja) und I (Hirse/ Soja) schieden dabei die geringsten Gehalte an XP und BE über den Kot aus, was mit den ebenfalls geringen Kotmengen erklärt werden kann.

Tabelle 37: Effekte verschiedener Futterrationen auf die Protein- und Bruttoenergieausscheidung beim Broiler (Versuchstag 28 bis 33)

Varianten		Tägliche Kotausscheidung [g TM/ Tag]	Rohprotein- ausscheidung [g/ Tag]	Bruttoenergie- ausscheidung [MJ/ Tag]
A	Mais/Soja [50:50]	38 ± 7	8 ^{ab} ± 11	0,61 ^{ab} ± 0,12
B	MS 67% - HLF 33%	47 ± 19	9 ^{ab} ± 4	0,74 ^{ab} ± 0,30
C	HLF 67% - MS 33%	52 ± 12	11 ^b ± 3	0,85 ^{ab} ± 0,20
D	HLF [50:50]	49 ± 6	10 ^{ab} ± 1	0,79 ^{ab} ± 0,10 _{ro}
E	MS 67% - HLC 33%	40 ± 7	8 ^{ab} ± 1	0,63 ^{ab} ± 0,11
F	HLC 67% - MS 33%	42 ± 11	8 ^{ab} ± 2	0,69 ^{ab} ± 0,19
G	HLC [50:50]	48 ± 12	10 ^{ab} ± 3	0,80 ^{ab} ± 0,20
H	MLF [50:50]	54 ± 7	11 ^b ± 1	0,89 ^b ± 0,12
I	HS [50:50]	36 ± 4	7 ^a ± 1	0,56 ^a ± 0,06
Standardfehler		1,540	0,329	0,026
P-Wert ¹		0,041	0,007	0,017

¹ p-Wert basierend auf ANOVA (GLM), a. b.... Mittelwerte mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben sind signifikant unterschiedlich: p < 0,05 (post-hoc Tukey HSD).

Abkürzungen: g= Gramm, TM= Trockenmasse, MJ= Megajoule, MS= Mais/Soja; HLF= Hirse/Lupine, Lupinensorte Frieda; HLC= Hirse/Lupine, Lupinensorte Celina; MLF= Mais/Lupine, Lupinensorte Frieda; HS= Hirse/Soja.

A. 5.5.4 Rohprotein- und Bruttoenergie- Verdaulichkeiten der Tiere (Versuchstag 28 bis 33)

Die anhand der Futter-, XP-, BE- Aufnahmen und der Kot-, XP- und BE- Ausscheidungen berechnete Gesamtverdaulichkeit der einzelnen verfütterten Futterrationen kann der Tabelle 38 entnommen werden.

Sowohl die Rohprotein- als auch Bruttoenergie- Verdaulichkeit aller Rationen lagen auf ähnlichem Niveau und wiesen keine Unterschiede untereinander auf. Die Verdaulichkeitswerte der unterschiedlich eingesetzten Rationen entsprechen dabei der Norm.

Tabelle 38: Effekte verschiedener Futterrationen auf die Protein- und Bruttoenergie-Verdaulichkeit beim Broiler (Versuchstag 28 bis 33)

Varianten		Rohprotein- Verdaulichkeit [%]	Bruttoenergie-Verdaulichkeit [%]
A	Mais/Soja [50:50]	73,1 ± 1,8	74,0 ± 1,1
B	MS 67% - HLF 33%	68,7 ± 11,7	68,5 ± 12,0
C	HLF 67% - MS 33%	71,2 ± 3,1	71,3 ± 2,4
D	HLF [50:50]	73,5 ± 2,7	73,0 ± 2,1
E	MS 67% - HLC 33%	74,3 ± 2,9	74,7 ± 2,2
F	HLC 67% - MS 33%	75,0 ± 6,0	73,8 ± 6,6
G	HLC [50:50]	75,0 ± 6,0	73,4 ± 5,5
H	MLF [50:50]	71,3 ± 2,3	70,1 ± 1,4
I	HS [50:50]	73,7 ± 3,7	74,5 ± 3,1
Standardfehler		0,719	0,710
P-Wert ¹		0,519	0,446

¹ p-Wert basierend auf ANOVA (GLM), ^{a, b, ...} Mittelwerte mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben sind signifikant unterschiedlich: $p < 0,05$ (post-hoc Tukey HSD).

Abkürzungen: MS= Mais/Soja; HLF= Hirse/Lupine, Lupinensorte Frieda; HLC= Hirse/Lupine, Lupinensorte Celina; MLF= Mais/Lupine, Lupinensorte Frieda; HS= Hirse/Soja.

Die unterschiedlichen Alkaloidgehalte der beiden eingesetzten Lupinesorten hatten keine negativen Einflüsse auf die Verdaulichkeit der aufgenommenen Rohprotein- und Bruttoenergieaufnahmen der Tiere.

A. 6 Fazit der tierexperimentellen Studie (Leistungs- und Verdaulichkeitsversuch)

Durch eine stufenweise Substitution der GMO- Soja- und Körnermaisgehalte in verschiedenen Futtrationen beim Broiler durch weiße Lupine und Sorghum (Hirse) wurde versucht, eine ähnlich gute Leistung der Tiere zu erzielen. Des Weiteren sollte die Verwertung der Futtrationen im tierischen Organismus, speziell die Verdaulichkeit des Rohproteins und der Bruttoenergie im Futter durch den Austausch der Futtereinzelkomponenten nicht negativ beeinflusst werden.

Der Leistungsversuch über einen Versuchszeitraum von 35 Tagen hat gezeigt, dass ein Austausch von GVO- Soja und Körnermais durch Lupine und Hirse in unterschiedlichen Futtrationen ohne Leistungsabfall möglich ist. Die Umsetzung bzw. die Verdaulichkeit des Futters im tierischen Organismus lag dabei auf ähnlichem Niveau, sodass daraus geschlossen werden kann, dass auch alternative Futtrationen im Vergleich zu herkömmlichen Mais/Soja-Rationen in der Broilermast eingesetzt werden können.

Dabei hatten die unterschiedlichen Alkaloidgehalte der beiden eingesetzten Lupinensorten weder Einfluss auf die Leistungs- noch auf die Verdaulichkeitsparameter der Broiler.

B. Leistungsstudie 2: Substitution von Mais durch Hirse und Soja durch Weiße Lupinen (1)

In nachfolgender tierexperimenteller Untersuchung wurden die Substitutionsmöglichkeiten von Mais durch Körnerhirse und Sojaextraktionsschrot durch Weiße Lupinen in der Fütterung von wachsenden Masthühnern untersucht. Die Versuchsdurchführung erfolgt gemäß den Vorgaben des Tierwohls mit den, vom Landesuntersuchungsamt Rheinland-Pfalz genehmigten Einschränkungen für experimentelle Tierversuche (G18-20-021 E16).

Die Versuchsdauer erstreckte sich über einen Zeitraum von 21 Tagen (20.01. bis 10.02.2021).

B. 1. Tiermaterial und Aufstallung

Für den Versuch wurden insgesamt 216 gesunde, vitale, männliche Eintagsküken (Ross 308) bei der Brüterei *Probroed & Sloom* (Vreden, Deutschland) eingekauft. Zu Versuchsbeginn wurden die Küken nach Gewicht balanciert, individuell gekennzeichnet (Flügelmarken) und randomisiert auf vier Versuchsvarianten verteilt. Für die tierexperimentelle Studie standen 108 Broilerbuchten in der Versuchsanlage für Broiler der Technischen Hochschule in Bingen zur Verfügung (Abbildung 26). Somit ergeben sich 27 Buchten je Variante à 2 Tiere/Bucht (54 Tiere/Variante).

B. 2. Futterrationen und Inhaltsstoffe

Futter und Wasser stand den Tieren, über den gesamten Versuchszeitraum, *ad libitum* zur Verfügung. Variante A (Mais/SES) bestand aus einem Standard-Broilermastfutter, basierend auf Mais, Sojaextraktionsschrot (SES) und Weizen. In Variante B (Mais/Lupine) wurde SES vollständig durch die Weiße Lupine (Celina, Landwirt Wörrstadt) ersetzt. Variante C und D waren gleich aufgebaut, wie Variante A und B, mit dem Unterschied, dass hier Mais durch Körnerhirse ersetzt wurde (Tabelle 39). Die Futterrationen wurden weitestgehend isokalorisch und isonitrogen ausgeglichen. Die Einzelkomponenten wurden im Futterzentrum der Technischen Hochschule in Bingen zunächst geschrotet, dann entsprechend des Mischplans vermischt und anschließend bei <70 °C pelletiert.

Tabelle 39: Mischverhältnis der experimentellen Futterratten (Leistungsstudie 2)

Futtermittel (%)	A <i>Mais/SES</i>	B <i>Mais/Lupine</i>	C <i>Hirse/SES</i>	D <i>Hirse/Lupine</i>
Mais	40	30	0	0
Körnerhirse	0	0	40	30
Sojaextr.schrot	35	0	35	0
Weiße Lupine (Celina)	0	45	0	45
Weizen	20	20	20	20
Premix, Lysin, Öl	5	5	5	5

B. 3. Datenerfassung

Zu Versuchsbeginn wurden die Tiere gleichmäßig, mit einem durchschnittlichen anfänglichen Körpergewicht von 47 g ±5, auf die vier Futterratten aufgeteilt. Die Lebendmasse der Tiere und die Futteraufnahme wurden wöchentlich erfasst, um die täglichen Zunahmen, die tägliche Futteraufnahme und den Futteraufwand zu berechnen.

Um den Gesundheitszustand der Tiere beurteilen zu können, erfolgte eine tägliche Tierkontrolle durch professionelles Personal. Jede Abweichung bezüglich des äußeren Erscheinungsbildes oder Verhaltens,

die Stalltemperatur und Luftfeuchte wurden im Stallbuch dokumentiert. Falls sich ein Tier in einem schlechten gesundheitlichen Zustand befand und nach genauerer Beobachtung festgestellt wurde, dass sich dieser Zustand nicht verbessert hat, wurde es aus dem Versuch herausgenommen.

B. 4. Statistische Datenauswertung

Die statistische Auswertung wurde mit dem Programm SPSS (*IBM SPSS Statistics*) durchgeführt. Mit Hilfe des allgemeinen linearen Modells (GLM) wurde eine Varianzanalyse durchgeführt, wobei die Mittelwerte aller Varianten durch einen post-hoc-Tukey-HSD-Test gegenübergestellt wurden. Signifikante Unterschiede mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $P < 0,05$ sind dabei in Kleinbuchstaben in den jeweiligen Ergebnistabellen dargestellt. Mittelwerte, die durch einen gleichen Buchstaben markiert sind, unterscheiden sich nicht signifikant.

B. 5. Ergebnisse

B. 5.1 Futtermittelanalysen

Die Futtermittelanalyse der wichtigsten Rohnährstoffe erfolgte nach der Methode der VDLUFA (2007) [Trockenmasse: VDLUFA III 3.1; Rohprotein: VDLUFA III 4.1.1; Rohfaser: VO (EG) 152/2009,III,I; Rohfett: VO (EG) 152/2009,III,H]. Die Ergebnisse der Futtermittelanalyse der eingesetzten Futtermittelsvarianten sind in folgender Tabelle 40 dargestellt:

Tabelle 40: Analysierte Rohnährstoffgehalte (g/kg TS) im eingesetzten Futter (Leistungsstudie 2)

Variante	A	B	C	D
	Mais/SES	Mais/Lupine	Hirse/SES	Hirse/Lupine
Trockensubstanz	889	891	890	893
Rohprotein	251	204	255	212
Rohfaser	25	60	27	69
Rohfett	67	102	64	101
Rohasche	46	40	47	41

SES = Sojaextraktionsschrot; Hirse = Körnerhirse; Lupine = Weiße Lupine

B. 5.2 Alkaloidgehalte der eingesetzten Futtermittelsvarianten

Die von JenaBios GmbH mittels HPLC- MS/MS (N) bestimmten Alkaloidgehalte der eingesetzten Weißen Lupine sowie die daraus kalkulierten Alkaloidgehalte der Futtermittelsvarianten C und D, können Tabelle 41 entnommen werden.

Tabelle 3: Alkaloidgehalte (mg/kg OS) in der verwendeten Weißen Lupine (*analysiert*) und im eingesetzten Futter (*kalkuliert*) (Leistungsstudie 2)

	Celina (2021)	Variante B 45 % Lupine	Variante D 45 % Lupine
Lupanin	670	301,5	301,5
Lupinin	< 10	< 10	< 10
13-Hydroxylupanin	70	31,5	31,5
Sparteïn	< 10	< 10	< 10
Angustifolin	36	16,2	16,2
Summe der Alkaloide	772	347	347

B. 5.3 Leistungsdaten

Die Leistungsdaten der Tiere sind in den Tabellen 42 und Tabelle 43 dargestellt. Um die signifikanten Unterschiede zu verdeutlichen, werden in den Abbildungen 31 bis 33 die Entwicklungen der einzelnen Leistungsdaten abgebildet.

Die Lebendmassen der Broiler zeigten deutliche signifikante Unterschiede (Tabelle 42, Abbildung 31). Broiler, welche SES/Mais (A)- und SES/Hirse (C)-basierte Rationen bekamen, wiesen signifikant höhere Endgewichte auf, im Vergleich zu den Broilern, welche Mais/Lupine (B)- und Hirse/Lupine (D)-basierte Rationen bekamen. Dieser Trend wurde ebenfalls in den Zunahmen bzw. täglichen Zunahmen der Tiere beobachtet (Tabelle 42).

Broiler, welche mit den Futterrationen A (Mais/SES) und C (Hirse/SES) gefüttert wurden, hatten signifikant höhere Futteraufnahmen als Broiler, welche mit den Rationen B (Mais/Lupine) und D (Hirse/Lupine) gefüttert wurden (Abbildung 32). Neben der signifikant verringerten Futteraufnahme und Wachstumsrate der Tiere, die mit Weißer Lupine gefüttert wurden, wurden außerdem deutlich höhere Futtermittelverluste beobachtet. Dies spricht für eine verringerte Akzeptanz des Futters.

Die signifikant verringerte Futteraufnahme und Zunahmen der Broiler, welche mit Weißer Lupine gefüttert wurden, spiegelte sich in einem signifikant höheren Futteraufwand wider (Abbildung 33). Die Leistungsdaten der Tiere, welche mit Mais/SES (A) und Hirse/SES (C) gefüttert wurden, befanden sich über den gesamten Versuchszeitraum in einem physiologisch normalen Bereich für Broiler der Genetik Ross 308.

Die Fütterung von Weißer Lupine als Ersatz für SES wirkte sich über den gesamten Versuchszeitraum negativ auf die Leistung der Broiler aus. Aufgrund der signifikanten Leistungseinbuße und des Gesundheitszustandes (siehe Kapitel B. 5.4) der Tiere, welche mit Weißer Lupine gefüttert wurden, wurde die Studie nach 21 Tagen beendet.

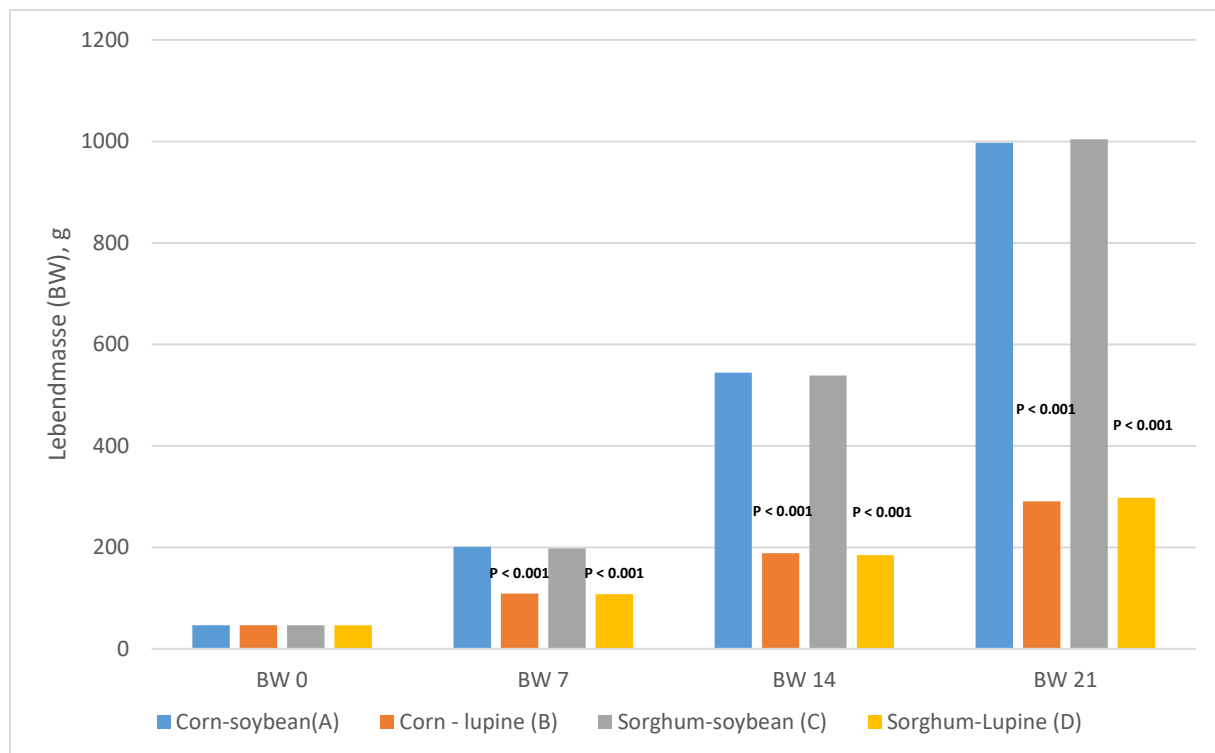


Abbildung 31: Entwicklung der Lebendmasse beim Broiler nach Fütterung verschiedener Futterrationen

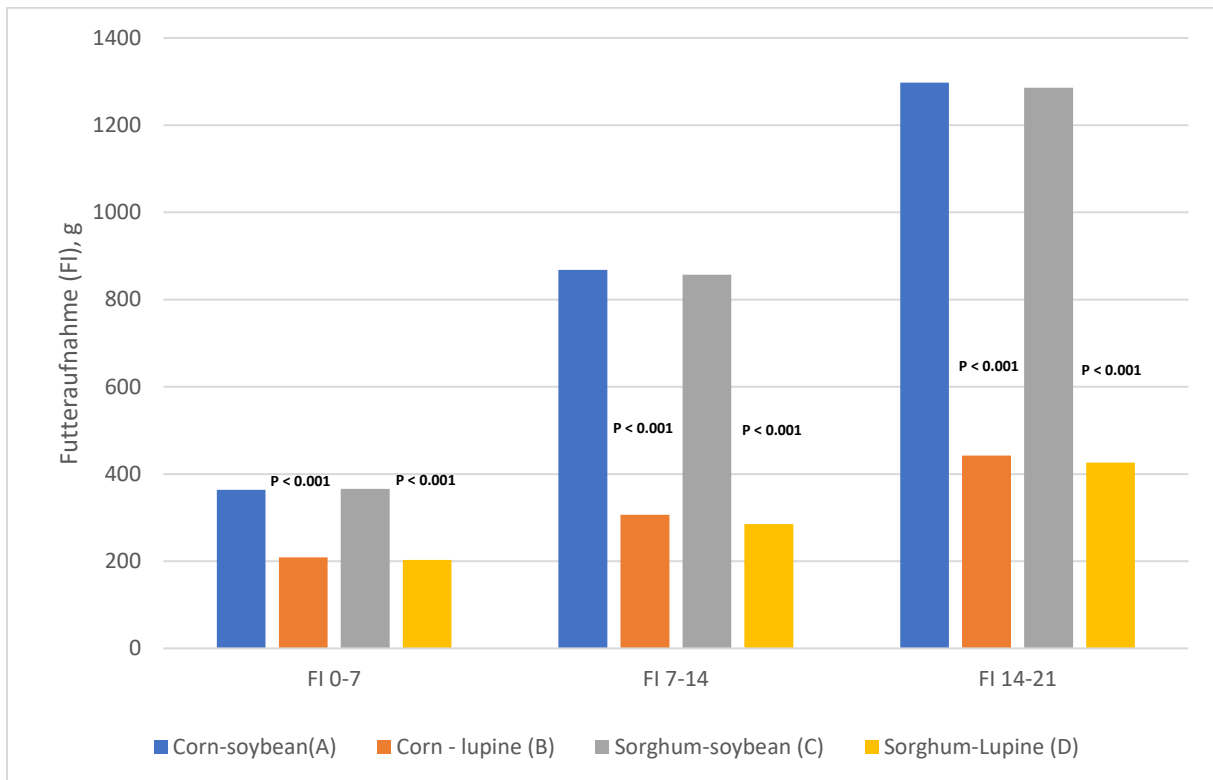


Abbildung 32: Entwicklung der Futteraufnahme je Versuchswoche beim Broiler nach Fütterung verschiedener Futtervarianten

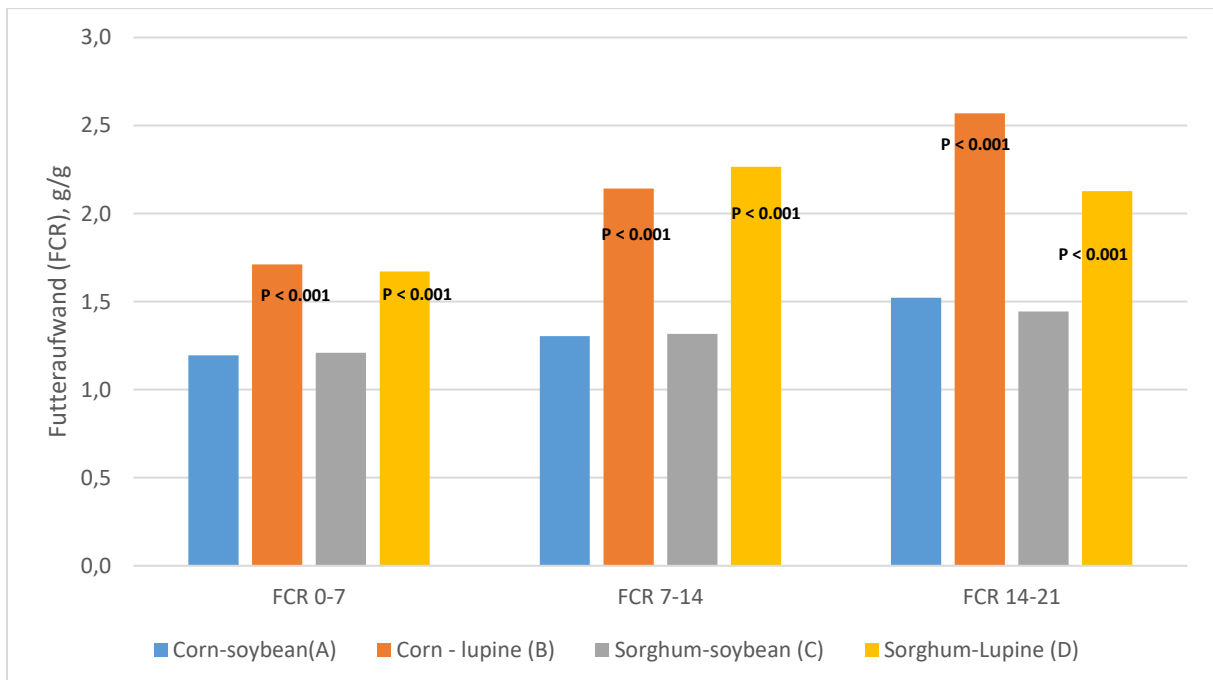


Abbildung 33: Entwicklung des Futteraufwands je Versuchswoche beim Broiler nach Fütterung verschiedener Futtervarianten

Tabelle 424: Ergebnisse der Wachstumsleistung (Leistungsstudie 2)

Futtermitteldiät		A	B	C	D	SEM	P-Wert
		Mais/SES	Mais/Lupine	Hirse/SES	Hirse/Lupine		
Lebendmasse, g/Broiler							
Tag 1	MW	47	47	47	47	0,32	1,000
	S	5	5	5	5		
Tag 7	MW	201 ^a	109 ^b	198 ^a	108 ^b	3,46	<0,001
	S	25	17	27	16		
Tag 14	MW	544 ^a	189 ^b	539 ^a	185 ^b	13,04	<0,001
	S	56	48	64	55		
Tag 21	MW	997 ^a	291 ^b	1001 ^a	297 ^b	26,12	<0,001
	S	115	96	123	112		
Zunahmen, g/Broiler							
Tag 1-7	MW	152 ^a	62 ^b	151 ^a	61 ^b	3,39	<0,001
	S	27	17	24	14		
Tag 7-14	MW	343 ^a	80 ^b	338 ^a	77 ^b	9,61	<0,001
	S	35	36	46	42		
Tag 14-21	MW	454 ^a	102 ^b	463 ^a	113 ^b	13,35	<0,001
	S	78	60	79	62		
Gesamt	MW	950 ^a	244 ^b	954 ^a	251 ^b	26,08	<0,001
	S	113	95	121	110		
Tägliche Zunahmen, g/Broiler/Tag							
Tag 1-7	MW	22 ^a	9 ^b	22 ^a	9 ^b	0,48	<0,001
	S	4	2	3	2		
Tag 7-14	MW	49 ^a	11 ^b	48 ^a	11 ^b	1,37	<0,001
	S	5	5	7	6		
Tag 14-21	MW	64 ^a	15 ^b	66 ^a	16 ^b	1,90	<0,001
	S	12	9	11	9		
Gesamt	MW	45 ^a	12 ^b	45 ^a	12 ^b	1,24	<0,001
	S	5	5	6	5		

P-Wert nach ANOVA (GLM); ^{a, b, ...} signifikante Unterschiede nach post-hoc-Tukey-HSD ($p < 0,05$)

SES = Sojaextraktionsschrot; Hirse = Körnerhirse; Lupine = Weiße Lupine

Tabelle 435: Ergebnisse der Futtereffizienz (Leistungsstudie 2)

Futtermitteldiät		A	B	C	D	SEM	P-Wert
		Mais/SES	Mais/Lupine	Hirse/SES	Hirse/Lupine		
Futteraufnahme, g/Broiler							
Tag 1-7	MW	364 ^a	209 ^b	366 ^a	203 ^b	8,22	<0,001
	S	42	26	23	27		
Tag 7-14	MW	868 ^a	307 ^b	857 ^a	285 ^b	29,71	<0,001
	S	113	103	152	109		
Tag 14-21	MW	1298 ^a	442 ^b	1286 ^a	426 ^b	45,69	<0,001
	S	223	181	213	187		
Gesamt	MW	2530 ^a	957 ^b	2509 ^a	914 ^b	82,52	<0,001
	S	352	280	350	307		
Tägliche Futteraufnahme, g/Broiler/Tag							
Tag 1-7	MW	26 ^a	15 ^b	26 ^a	15 ^b	0,59	<0,001
	S	3	2	2	2		
Tag 7-14	MW	64 ^a	23 ^b	63 ^a	22 ^b	2,05	<0,001
	S	5	6	5	6		
Tag 14-21	MW	97 ^a	33 ^b	98 ^a	33 ^b	3,30	<0,001
	S	11	12	11	11		
Gesamt	MW	62 ^a	24 ^b	61 ^a	23 ^b	1,93	<0,001
	S	6	6	5	6		
Futteraufwand, g/g							
Tag 1-7	MW	1,20 ^a	1,71 ^b	1,21 ^a	1,72 ^b	0,03	<0,001
	S	0,04	0,20	0,05	0,31		
Tag 7-14	MW	1,30 ^a	2,14 ^b	1,32 ^a	2,17 ^b	0,05	<0,001
	S	0,05	0,42	0,08	0,45		
Tag 14-21	MW	1,50 ^a	2,57 ^c	1,74 ^{ab}	2,13 ^{bc}	0,09	<0,001
	S	0,15	0,97	1,41	0,22		
Gesamt	MW	1,38 ^a	2,10 ^b	1,51 ^a	2,00 ^b	0,05	<0,001
	S	0,08	0,29	0,72	0,16		

P-Wert nach ANOVA (GLM); ^{a, b, ...} signifikante Unterschiede nach post-hoc-Tukey-HSD ($p < 0,05$)

SES = Sojaextraktionsschrot; Hirse = Körnerhirse; Lupine = Weiße Lupine

B. 5.4. Gesundheitsstatus der Tiere

Die Kontrolle des Gesundheitszustandes der Broiler erfolgte täglich durch qualifiziertes Personal. Während der gesamten tierexperimentellen Studie wurde keine therapeutische oder präventive Behandlung bei Futtermitteldiät A (Mais/SES) und C (Hirse/SES) vorgenommen. Diese Tiere befanden sich über den gesamten Zeitraum in einem guten gesundheitlichen Zustand.

Die Tiere, welche mit hohen Anteilen an Weißer Lupine gefüttert wurden, zeigten jedoch deutliche gesundheitliche Probleme und Anzeichen von toxischen Erscheinungen durch die Lupinen. Zu den Anzeichen zählten neben der Futterverweigerung auch Beinschwäche, Gelenkentzündungen und Schwellungen. Im Laufe der Versuchsphase entwickelten sich dadurch Skelett-/Gelenkdeformationen (Abbildung 34). Auch „Flügelähmungen“ wurden beobachtet. Am Ende des Versuchs waren zudem bei den betroffenen Tieren Leberschäden erkennbar (Abbildung 34, unten rechts).



Abbildung 34: Skelett-/Gelenkdeformationen und Leberschädigung beim Broiler, welche mit hohen Anteilen Weißer Lupine gefüttert wurden

B. 6 Fazit der tierexperimentellen Studie

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die Substitution von Mais durch Körnerhirse ohne negative Auswirkungen auf die Leistungsparameter der Tiere möglich ist.

Die vollständige Substitution von Sojaextraktionsschrot durch Weiße Lupinen in der Futtermischung führte in der vorliegenden Studie zu signifikant verringerten Leistungsparametern und gesundheitlichen Problemen beim Broiler. Aufgrund dessen sollen hohe Mengen (hier 45 %) an Weißer Lupine in der Broilerration vermieden werden.

C. Leistungsstudie 3: Substitution von Mais durch Hirse und Soja durch Weiße Lupinen (2)

Auf Grundlage der vorherigen Studie wurde in nachfolgender tierexperimenteller Untersuchung die Substitutionsmöglichkeiten von Mais durch Körnerhirse sowie von Sojaextraktionsschrot (SES) durch 15 bis 20 % Weiße Lupinen in der Fütterung von wachsenden Masthühnern untersucht. Die Versuchsdurchführung erfolgt gemäß den Vorgaben des Tierwohls mit den, vom Landesuntersuchungsamt Rheinland- Pfalz genehmigten Einschränkungen für experimentelle Tierversuche (G18-20-021 E16).

Die Versuchsdauer erstreckte sich über einen Zeitraum von 21 Tagen (02.12. bis 23.12.2021).

C. 1. Tiermaterial und Aufstallung

Für den Versuch standen insgesamt 25 gesunde, vitale, männliche Broiler (Ross 308) im Alter von 14 Tagen zur Verfügung. Diese wurden als Eintagsküken bei der Brüterei *Probroed & Sloom* (Vreden, Deutschland) eingekauft und 14 lang mit kommerziellem Broilermastfutter aufgezogen. Zu Versuchsbeginn wurden die 14-Tage-alten Broiler nach Gewicht balanciert, individuell gekennzeichnet (Flügelmarken) und gleichmäßig auf vier Versuchsvarianten verteilt. Für die tierexperimentelle Studie standen 25 Broilerbuchten in der Versuchsanlage für Broiler der Technischen Hochschule in Bingen zur Verfügung (Abbildung 26). Somit ergeben sich 6 Tiere je Variante bzw. 7 Tiere in der Kontrollgruppe (A).

C. 2. Futterrationen und Inhaltsstoffe

Futter und Wasser stand den Tieren, über den gesamten Versuchszeitraum, *ad libitum* zur Verfügung.

Variante A (Mais/SES) bestand aus einem Standard-Broilermastfutter, basierend auf Mais, Weizen und Sojaextraktionsschrot (SES). In Variante B (Hirse/SES) wurde Mais vollständig durch Körnerhirse ersetzt. Variante C und D wurden 15 % (C) bzw. 20 % (D) Weiße Lupinen (Sorte: Celina, Landwirt Nied) als Ersatz für SES ergänzt, wobei bei Variante C Mais und bei Variante D Körnerhirse verwendet wurde (Tabelle 44). Die Futterrationen wurden isokalorisch und isonitrogen ausgeglichen. Die Einzelkomponenten wurden im Futterzentrum der Technischen Hochschule in Bingen zunächst geschrotet, dann entsprechend des Mischplans vermischt und anschließend bei <70 °C pelletiert.

Tabelle 44: Mischverhältnis der experimentellen Futterratten (Leistungsstudie 3)

Futtermittel (%)	A	B	C	D
	Mais/SES	Hirse/SES	Mais/SES/Lupine	Hirse/SES/Lupine
Mais	40	-	40	-
Körnerhirse	-	40	-	40
Sojaextraktionsschrot (SES)	35	35	20	15
Weiße Lupine (Sorte: Celina)	-	-	15	20
Weizen	20	20	20	20
Premix, Lysin, Öl	5	5	5	5

C. 3. Datenerfassung

Zu Versuchsbeginn wurden die Tiere gleichmäßig, mit einem durchschnittlichen anfänglichen Körpergewicht von 703 g \pm 6, auf die vier Futtermittelsvarianten aufgeteilt. Die Lebendmasse der Tiere und die Futteraufnahme wurden wöchentlich erfasst, um die täglichen Zunahmen, die tägliche Futteraufnahme und den Futteraufwand zu berechnen.

Um den Gesundheitszustand der Tiere beurteilen zu können, erfolgte eine tägliche Tierkontrolle durch professionelles Personal. Jede Abweichung bezüglich des äußeren Erscheinungsbildes oder Verhaltens, die Stalltemperatur und Luftfeuchte wurden im Stallbuch dokumentiert. Falls sich ein Tier in einem schlechten gesundheitlichen Zustand befand und nach genauerer Beobachtung festgestellt wurde, dass sich dieser Zustand nicht verbessert hat, wurde es aus dem Versuch herausgenommen.

C. 4. Statistische Datenauswertung

Die statistische Auswertung wurde mit dem Programm SPSS (*IBM SPSS Statistics*) durchgeführt. Mit Hilfe des allgemeinen linearen Modells (GLM) wurde eine Varianzanalyse durchgeführt, wobei die Mittelwerte aller Varianten durch einen post-hoc-Tukey-HSD-Test gegenübergestellt wurden. Signifikante Unterschiede mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $P < 0,05$ sind dabei in Kleinbuchstaben in den jeweiligen Ergebnistabellen dargestellt. Mittelwerte, die durch einen gleichen Buchstaben markiert sind, unterscheiden sich nicht signifikant.

C. 5. Ergebnisse

C. 5.1. Gesundheitsstatus der Tiere

Die Kontrolle des Gesundheitszustandes der Broiler erfolgte täglich durch qualifiziertes Personal. Während der gesamten tierexperimentellen Studie wurde keine therapeutische oder präventive Behandlung vorgenommen. Die Tiere befanden sich über den gesamten Zeitraum in einem guten gesundheitlichen Zustand.

C. 5.2 Futtermittelanalysen

Die Futtermittelanalyse der wichtigsten Rohnährstoffe erfolgt nach der Methode der VDLUFA (2007) [Trockenmasse: VDLUFA III 3.1; Rohprotein: VDLUFA III 4.1.1; Rohfaser: VO (EG) 152/2009,III,I; Rohfett: VO (EG) 152/2009,III,H]. Die Ergebnisse der Futtermittelanalysen der eingesetzten Futtervarianten sind in folgender Tabelle 45 dargestellt:

Tabelle 45: Analysierte Rohnährstoffgehalte (g/kg TS) im eingesetzten Futter (Leistungsstudie 3)

Variante	A	B	C	D
	Mais/SES	Hirse/SES	Mais/SES/Lupine	Hirse/SES/Lupine
Trockensubstanz	884	904	891	905
Rohprotein	240	242	219	219
Rohfaser	30	28	38	43
Rohfett	74	54	77	68
Rohasche	47	50	44	46

SES = Sojaextraktionsschrot; Hirse = Körnerhirse; Lupine = Weiße Lupine

C. 5.3 Alkaloidgehalte der eingesetzten Futtervarianten

Die von JenaBios GmbH mittels HPLC- MS/MS (N) bestimmten Alkaloidgehalte der eingesetzten Weißen Lupine sowie die daraus kalkultierten Alkaloidgehalte der Futtervarianten C und D, können folgender Tabelle 46 entnommen werden.

Tabelle 466: Alkaloidgehalte (mg/kg OS) in der verwendeten Weißen Lupine (*analysiert*) und im eingesetzten Futter (*kalkuliert*) (Leistungsstudie 3)

	Celina (2021)	Variante C 15 % Lupine	Variante D 20 % Lupine
Lupanin	380	57,0	76,0
Lupinin	< 10	< 1,5	< 2,0
13-Hydroxylupanin	38	5,7	7,6
Sparteïn	< 10	< 1,5	< 2,0
Angustifolin	< 10	< 1,5	< 2,0
Multiflorin	25	3,8	5,9
Summe der Alkaloide	443	66,5	88,6

C. 5.4 Leistungsdaten

Die Ergebnisse der Studie sind in Tabelle 47 und 48 dargestellt, sowie in Abbildung 35 veranschaulicht.

In dieser Studie konnte gezeigt werden, dass sich Mais vollständig durch Hirse substituieren lässt, ohne die Wachstumsleistung und Futtereffizienz der Broiler, ab einem Alter von 14 Tagen, negativ zu beeinträchtigen. Der Einsatz von Weißer Lupine als Ersatz für Sojaextraktionsschrot in Futtermittelvariante C und D, verringerte die Wachstumsleistung und Futtereffizienz signifikant, gegenüber Variante A (Mais/Soja) $P < 0,05$. Bei einem Anteil von 15 % Weißer Lupine im Broilermastfutter (Variante C), unterschied sich die Futtermittelaufnahme nicht von Variante A (Mais/Soja) und B (Hirse/Soja) ($P > 0,05$). Bei einem Anteil von 20 % Weißer Lupine hingegen reduzierte sich die Futtermittelaufnahme im Vergleich zu den anderen Futtermittelvarianten. Der Unterschied war jedoch nicht signifikant.

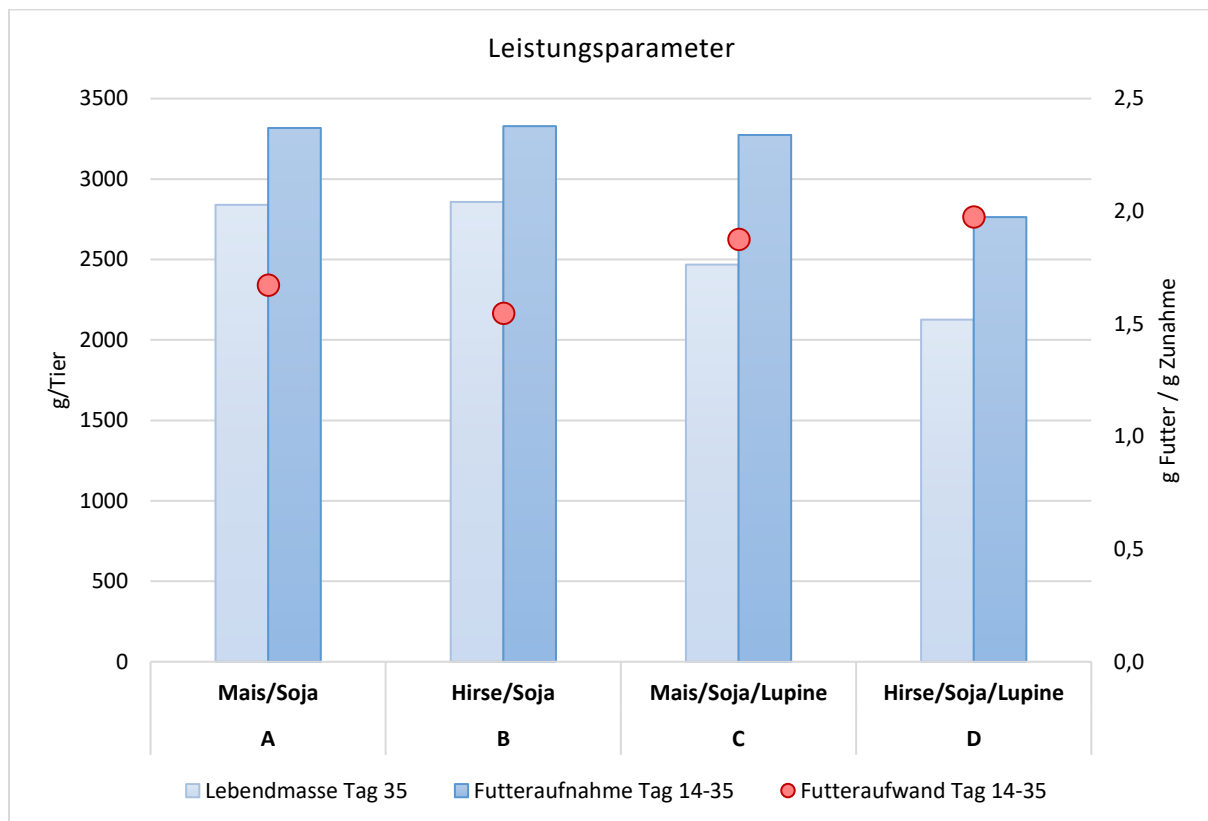


Abbildung 35: Ergebnisse der Leistungsparameter während der 21 Versuchstage (Leistungsstudie 3), $P < 0,05$

Tabelle 477: Ergebnisse der Wachstumsleistung (Leistungsstudie 3)

Futtermitteldiät		A	B	C	D	SEM	P-Wert
		Mais/SES	Hirse/SES	Mais/SES/Lu	Hirse/SES/Lu		
Lebensmasse, g/Broiler							
Tag 14	MW	703	704	703	704	1,14	0,941
	S	6	6	6	6		
Tag 21	MW	1321 ^a	1328 ^a	1260 ^a	1115 ^b	20,95	<0,001
	S	52	43	50	101		
Tag 28	MW	2001 ^a	2055 ^a	1865 ^{ab}	1616 ^b	48,14	0,005
	S	159	118	83	257		
Tag 35	MW	2840 ^a	2858 ^a	2468 ^{ab}	2126 ^b	86,16	0,001
	S	176	204	368	358		
Zunahmen, g/Broiler							
Tag 14-21	MW	618 ^a	624 ^a	556 ^a	411 ^b	20,94	<0,001
	S	49	45	50	100		
Tag 21-28	MW	680	727	606	501	33,12	0,126
	S	111	101	108	168		
Tag 28-35	MW	711	803	603	510	47,15	0,135
	S	273	126	291	109		
Gesamt	MW	2009 ^a	2154 ^a	1765 ^{ab}	1423 ^b	84,88	0,005
	S	353	209	363	357		
Tägliche Zunahmen, g/Broiler/Tag							
Tag 14-21	MW	88 ^a	89 ^a	79 ^a	59 ^b	2,99	<0,001
	S	7	6	7	14		
Tag 21-28	MW	97	104	87	72	4,76	0,126
	S	16	14	15	24		
Tag 28-35	MW	102	115	86	73	6,72	0,141
	S	39	18	42	16		
Gesamt	MW	96 ^a	103 ^a	84 ^{ab}	68 ^b	4,04	0,005
	S	17	10	17	17		

P-Wert nach ANOVA (GLM); ^{a, b, ...} signifikante Unterschiede nach post-hoc-Tukey-HSD ($p < 0,05$)

SES = Sojaextraktionsschrot; Hirse = Körnerhirse; Lu = Weiße Lupine

Tabelle 48: Ergebnisse der Futtereffizienz (Leistungsstudie 3)

Futtervariante		A	B	C	D	SEM	P-Wert
		Mais/SES	Hirse/SES	Mais/SES/Lu	Hirse/SES/Lu		
Futteraufnahme, g/Broiler							
Tag 14-21	MW	906 ^a	872 ^{ab}	906 ^a	761 ^b	19,54	0,020
	S	80	66	77	110		
Tag 21-28	MW	1119	1123	1112	923	40,87	0,299
	S	132	101	156	181		
Tag 28-35	MW	1292	1334	1256	1080	57,12	0,503
	S	258	162	411	218		
Gesamt	MW	3317	3329	3274	2764	96,52	0,104
	S	400	304	515	493		
Tägliche Futteraufnahme, g/Broiler/Tag							
Tag 14-21	MW	129	125	129	109	2,81	0,021
	S	11	9	11	16		
Tag 21-28	MW	160	160	159	132	5,83	0,301
	S	19	14	22	26		
Tag 28-35	MW	185	191	179	154	8,16	0,505
	S	37	23	59	31		
Gesamt	MW	158	159	156	132	4,60	0,105
	S	19	14	25	23		
Futteraufwand, g/g							
Tag 14-21	MW	1,47 ^a	1,40 ^a	1,63 ^b	1,88 ^c	0,04	<0,001
	S	0,06	0,05	0,05	0,19		
Tag 21-28	MW	1,66	1,56	1,85	1,94	0,05	0,061
	S	0,11	0,14	0,11	0,42		
Tag 28-35	MW	2,12 ^{ab}	1,67 ^a	2,60 ^{ab}	2,12 ^b	0,17	0,324
	S	0,96	0,13	1,36	0,10		
Gesamt	MW	1,67 ^{ab}	1,55 ^a	1,88 ^{bc}	1,97 ^c	0,05	<0,001
	S	0,16	0,07	0,15	0,19		

P-Wert nach ANOVA (GLM); ^{a, b, ...} signifikante Unterschiede nach post-hoc-Tukey-HSD ($p < 0,05$)

SES = Sojaextraktionsschrot; Hirse = Körnerhirse; Lu = Weiße Lupine

C. 6 Fazit der tierexperimentellen Studie

Ziel der Studie war es, die Substitutionsmöglichkeiten von Mais durch Körnerhirse und Sojaextraktionsschrot durch die Weiße Lupine zu untersuchen. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass Mais vollständig durch Körnerhirse ersetzt werden kann, ohne die Leistung der Tiere negativ zu beeinträchtigen. Der Einsatz von 15 % Weißer Lupine in der Ernährung von wachsenden Masthühnern führte zu vergleichbaren Wachstumsleistung, aber einer verminderten Futtereffizienz. Der Einsatz von 20 % Weißer Lupine führte in diesem Versuch zu verschlechterten Leistungsparametern bei Broilern im Alter von 14 bis 35 Tagen.

D. Leistungsstudie 4: Abgestufter Alkaloidgehalt in Broilerrationen

In nachfolgender tierexperimenteller Untersuchung wurden die Effekte eines abgestuften Alkaloidgehalts der Weißen Lupine auf die Leistungsparameter bei Masthühnern untersucht. Die Versuchsdurchführung erfolgt gemäß den Vorgaben des Tierwohls mit den, vom Landesuntersuchungsamt Rheinland- Pfalz genehmigten Einschränkungen für experimentelle Tierversuche (G18-20-021 E16).

Die Versuchsdauer erstreckte sich über einen Zeitraum von 28 Tagen (29.03. bis 16.04.2022).

D. 1. Tiermaterial und Aufstallung

Insgesamt 140 gesunde und vitale, männliche Eintagsküken (Ross 308) wurden bei der Brüterei *Probroed & Slood* (Vreden, Deutschland) eingekauft. Zu Versuchsbeginn wurden die Küken nach Gewicht balanciert, individuell gekennzeichnet (Flügelmarken) und randomisiert auf sieben Versuchsvarianten verteilt. Für diese tierexperimentelle Untersuchung standen 94 Stoffwechselbuchten für Broiler (Doppelbelegung) in einer klimatisierten Broileranlage an der Technischen Hochschule Bingen zur Verfügung (Abbildung 26). Somit ergeben sich 20 Tiere (10 Buchten) je Variante. Nach dem 21. Versuchstag wurde die Doppelbelegung der Buchten auf 1 Tier pro Bucht reduziert, wodurch sich 10 Tiere pro Variante ab Tag 21 ergaben.

D. 2. Futterrationen und Inhaltsstoffe

Futter und Wasser stand den Tieren, über den gesamten Versuchszeitraum, *ad libitum* zur Verfügung. Als Kontrollvariante (A, *Kontrolle*) diente ein getreide-soja-basiertes Standard-Broilermastfutter. In Futtermittellösung B (*Regional*) wurde Mais und Sojaextraktionsschrot (SES) durch regionale Futterkomponenten (Körnerhirse, Erbsen, Rapsextraktionsschrot, Sonnenblumenextraktionsschrot und Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege) ersetzt. Für die Futtermittellösungen C bis G wurden zur Variante B 15 % Weiße Lupine ergänzt. Um eine Abstufung der Alkaloidgehalte zu erzielen, wurde eine Sorte mit hohem Alkaloidgehalt (Celina) und eine Sorte mit geringem Alkaloidgehalt (Amiga) gewählt und entsprechend Tabelle 49 vermischt. Die Futterrationen wurden isokalorisch und isonitrogen ausgeglichen. Die Einzelkomponenten wurden im Futterzentrum der Technischen Hochschule in Bingen zunächst geschrotet, entsprechend des Mischplans vermischt und anschließend bei <70 °C pelletiert.

Tabelle 498: Mischverhältnis der experimentellen Futtermittellösungen (Leistungsstudie 4)

Futtermittel (%)	A	B	C	D	E	F	G
Mais	37,75						
Sojaextraktionsschrot	35,00						
Weizen	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Körnerhirse		21,85	23,35	23,35	23,35	23,35	23,35
Erbsen		25,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Rapsextr.schrot		10,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Sonnenblumenextr.schrot		10,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Larvenmehl (BSFL)		5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Lupine Celina			15,00	11,25	7,50	3,75	
Lupine Amiga				3,75	7,50	11,25	15,00
Premix, AS, Fett	7,25	8,25	6,65	6,65	6,65	6,65	6,65

D. 3. Datenerfassung

Zu Versuchsbeginn wurden die Tiere gleichmäßig, mit einem durchschnittlichen anfänglichen Körpergewicht von $54 \text{ g} \pm 4$, auf die sieben Futtermittelsvarianten aufgeteilt. Die Lebendmasse der Tiere und die Futtermittelaufnahme wurden wöchentlich erfasst, um die täglichen Zunahmen, die tägliche Futtermittelaufnahme und den Futtermittelverbrauch zu berechnen.

Um den Gesundheitszustand der Tiere beurteilen zu können, erfolgte eine tägliche Tierkontrolle durch professionelles Personal. Jede Abweichung bezüglich des äußeren Erscheinungsbildes oder Verhaltens, die Stalltemperatur und Luftfeuchte wurden im Stallbuch dokumentiert. Falls sich ein Tier in einem schlechten gesundheitlichen Zustand befand und nach genauerer Beobachtung festgestellt wurde, dass sich dieser Zustand nicht verbessert hat, wurde es aus dem Versuch herausgenommen.

D. 4. Statistische Datenauswertung

Die statistische Auswertung wurde mit dem Programm SPSS (*IBM SPSS Statistics*) durchgeführt. Mit Hilfe des allgemeinen linearen Modells (GLM) wurde eine Varianzanalyse durchgeführt, wobei die Mittelwerte aller Varianten durch einen post-hoc-Tukey-HSD-Test gegenübergestellt wurden. Signifikante Unterschiede mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $P < 0,05$ sind dabei in Kleinbuchstaben in den jeweiligen Ergebnistabellen dargestellt. Mittelwerte, die durch einen gleichen Buchstaben markiert sind, unterscheiden sich nicht signifikant.

D. 5. Ergebnisse

D. 5.1. Gesundheitsstatus der Tiere

Die Kontrolle des Gesundheitszustandes der Broiler erfolgte täglich durch qualifiziertes Personal. Während der gesamten tierexperimentellen Studie wurde keine therapeutische oder präventive Behandlung vorgenommen. Die Tiere befanden sich über den gesamten Zeitraum in einem guten gesundheitlichen Zustand.

D. 5.2 Futtermittelanalysen

Die Futtermittelanalyse der wichtigsten Rohnährstoffe erfolgte nach der Methode der VDLUFA (2007) [Trockenmasse: VDLUFA III 3.1; Rohprotein: VDLUFA III 4.1.1; Rohfaser: VO (EG) 152/2009,III,I; Rohfett: VO (EG) 152/2009,III,H]. Die Ergebnisse der Futtermittelanalyse der eingesetzten Futtermittelsvarianten sind in folgender Tabelle 50 dargestellt:

Tabelle 50: Analysierte Rohnährstoffgehalte (g/kg TS) im eingesetzten Futter (Leistungsstudie 4)

	A	B	C	D	E	F	G
Trockensubstanz	892	925	914	918	918	911	909
Rohprotein	230	219	223	223	224	228	231
Rohfaser	27	64	63	61	61	58	56
Rohfett	62	75	74	71	72	70	69
Rohasche	65	65	61	60	61	59	61

D. 5.3 Alkaloidgehalte der eingesetzten Futtermittelsvarianten

Die von JenaBios GmbH mittels HPLC- MS/MS (N) bestimmten Alkaloidgehalte der eingesetzten Futtermittelsvarianten können folgender Tabelle 51 entnommen werden.

Tabelle 51: Alkaloidgehalte (mg/kg TS) im eingesetzten Futter (Leistungsstudie 4)

	C	D	E	F	G
Lupanin	37,00	31,71	22,60	19,62	6,61
Lupinin	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
13-Hydroxylupanin	6,134	6,523	6,870	6,601	6,88
Sparteïn	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Angustifolin	2,53	2,71	2,62	2,77	2,59
Multiflorin	5,14	3,71	2,26	2,23	< 1
Summe der Alkaloide	50,51	44,39	34,35	31,22	16,07

D. 5.4 Leistungsdaten

Die Ergebnisse der Studie sind in Tabelle 52 und 53 tabellarisch dargestellt. Außerdem wurden die Leistungsparameter der 28 Versuchstage in Abbildung 36 veranschaulicht.

Im Allgemeinen zeigen die Leistungsdaten keine statistischen Unterschiede innerhalb der Futtermittelsvarianten. Lediglich an Tag 7, 14 und 21 wurden signifikante Unterschiede in der Lebendmasse der Tiere festgestellt. Dabei unterschieden sich die Gruppen A, C, F und G nicht voneinander ($P > 0,05$), während B und D sich mit einem signifikant geringeren Körpergewicht und E mit einem signifikant höheren Körpergewicht von der Kontrollgruppe unterschieden ($P < 0,05$). Alle Futtermittelsvarianten erzielten

nach den 28 Versuchstagen durchschnittlich zwischen 2,02 und 2,09 kg. Dies zeigt, dass sich die Tiere auf einem hohen Leistungsniveau befanden. Die Tiere der Kontrollgruppe erreichten mit durchschnittlich 2,09 kg zum Versuchsende die höchste Lebendmasse, dicht gefolgt mit 2,08 kg der Variante E mit einem mittleren Alkaloidgehalt von 34,35 mg/kg TS. In den Zunahmen und täglichen Zunahmen wurden nur numerische, keine signifikanten Unterschiede innerhalb der Versuchsvarianten beobachtet ($P>0,05$).

Ebenso zeigten die Daten der Futtereffizienz numerische, aber keine signifikanten Unterschiede ($P>0,05$). Es wurde kein Zusammenhang zwischen dem Alkaloidgehalt des Futters und der Futteraufnahme beobachtet. Der Futteraufwand war bei der Kontrollgruppe und Variante G (geringster Alkaloidgehalt) am geringsten, während er bei Variante C (höchster Alkaloidgehalt) leicht anstieg ($P<0,05$).

Wie in folgender Grafik veranschaulicht, wurden über den gesamten Versuchszeitraum kein Zusammenhang ($P>0,05$) zwischen dem Alkaloidgehalt im Futter und den Leistungsparametern der Tiere beobachtet.

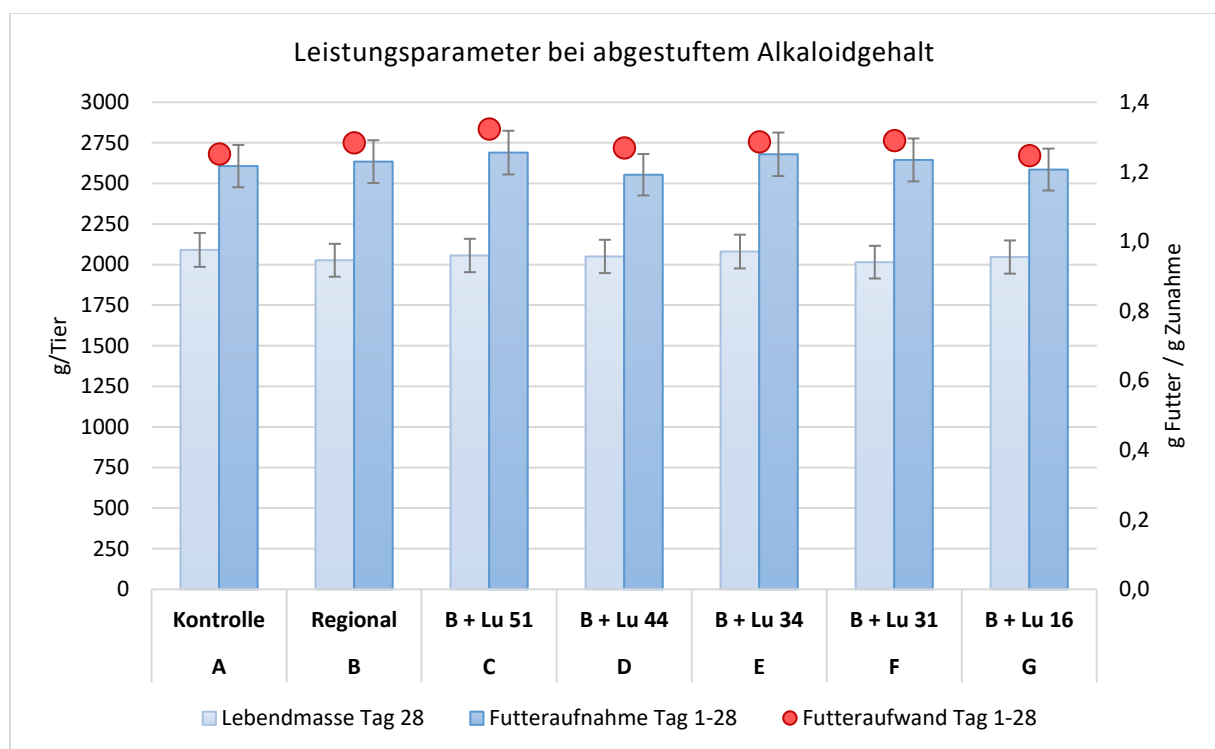


Abbildung 36: Ergebnisse der Leistungsparameter während der 28 Versuchstage (Leistungsstudie 4)

Tabelle 52: Effekte eines abgestuften Alkaloidgehalt der Weißen Lupine auf die Wachstumsleistung von wachsenden Masthühnern (Leistungsstudie 4)

Futtervariante		A	B	C	D	E	F	G	SEM	P-Wert ¹
Anteil der Gesamtalkaloide (mg/kg TS)		Kontrolle	Regional	B + Lu 51	B + Lu 44	B + Lu 34	B + Lu 31	B + Lu 16		
Lebendmasse, g/Broiler										
Tag 0	MW	54	54	54	54	54	54	54	0,332	1,000
	S	4	4	4	4	4	4	4		
Tag 7	MW	238 ^{ab}	222 ^a	240 ^{ab}	226 ^a	247 ^b	232 ^{ab}	238 ^{ab}	1,894	0,006
	S	20	22	18	22	17	28	20		
Tag 14	MW	668 ^{ab}	622 ^a	652 ^{ab}	621 ^a	678 ^b	649 ^{ab}	644 ^{ab}	5,091	0,018
	S	47	53	47	58	60	74	57		
Tag 21	MW	1314	1239	1285	1255	1316	1261	1284	8,423	0,112
	S	75	97	64	84	112	116	108		
Tag 21*	MW	1315 ^{ab}	1239 ^a	1286 ^{ab}	1254 ^{ab}	1316 ^b	1261 ^{ab}	1284 ^{ab}	7,240	0,018
	S	41	68	29	48	51	77	65		
Tag 28	MW	2090	2027	2056	2050	2080	2015	2046	13,437	0,761
	S	130	101	84	97	84	152	123		
Zunahmen, g/Broiler										
Phase 1	MW	1261	1185	1232	1201	1262	1208	1230	8,341	0,101
	S	76	96	63	83	112	115	106		
Phase 2	MW	776	777	770	768	764	754	762	10,602	0,998
	S	100	50	92	98	79	120	85		
Gesamt	MW	2012	1972	1971	1971	2018	1977	2013	16,470	0,959
	S	124	140	114	124	139	169	161		
Tägliche Zunahmen, g/Broiler/Tag										
Phase 1	MW	60	56	59	57	60	58	59	0,397	0,101
	S	4	5	3	4	5	5	5		
Phase 2	MW	111	111	110	110	109	108	109	1,515	0,998
	S	14	7	13	14	11	17	12		
Gesamt	MW	72	70	70	69	72	70	72	0,615	0,787
	S	4	5	4	6	5	6	6		

Phase 1: Tag 0-21; Phase 2: Tag 21-28; Lu = Lupine

P-Wert nach ANOVA (GLM); ^{a, b, ...} signifikante Unterschiede nach post-hoc-Tukey-HSD ($p < 0,05$)

Tabelle 53: Effekte eines abgestuften Alkaloidgehalt der Weißen Lupine auf die Futtereffizienz von wachsenden Masthühnern (Leistungsstudie 4)

Futtervariante		A	B	C	D	E	F	G	SEM	P-Wert¹
<i>Anteil der Gesamtalkaloide (mg/kg TS)</i>		<i>Kontrolle</i>	<i>Regional</i>	<i>B + Lu 51</i>	<i>B + Lu 44</i>	<i>B + Lu 34</i>	<i>B + Lu 31</i>	<i>B + Lu 16</i>		
Futteraufnahme, g/Broiler										
Phase 1	MW	1538	1504	1582	1490	1591	1576	1530	12,614	0,208
	S	58	106	67	78	97	181	87		
Phase 2	MW	1069	1110	1108	1063	1089	1069	1055	11,397	0,807
	S	116	48	80	138	61	95	105		
Gesamt	MW	2607	2634	2690	2553	2679	2645	2585	18,670	0,425
	S	141	110	117	162	122	228	168		
Tägliche Futteraufnahme, g/Broiler/Tag										
Phase 1	MW	73	72	75	71	76	75	73	0,601	0,208
	S	3	5	3	4	5	9	4		
Phase 2	MW	153	159	158	154	156	153	151	1,530	0,799
	S	17	7	11	15	9	14	15		
Gesamt	MW	93	94	96	92	96	94	92	0,652	0,584
	S	5	4	4	5	4	8	6		
Futteraufwand, g/g										
Phase 1	MW	1,21	1,24	1,28	1,22	1,24	1,22	1,20	0,009	0,307
	S	0,08	0,07	0,06	0,07	0,09	0,10	0,06		
Phase 2	MW	1,38	1,43	1,45	1,39	1,43	1,45	1,39	0,011	0,408
	S	0,06	0,04	0,12	0,04	0,08	0,18	0,06		
Gesamt	MW	1,25	1,28	1,32	1,27	1,29	1,29	1,25	0,008	0,114
	S	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,05		

Phase 1: Tag 0-21; Phase 2: Tag 21-28; Lu = Lupine

P-Wert nach ANOVA (GLM); ^{a, b, ...} signifikante Unterschiede nach post-hoc-Tukey-HSD ($p < 0,05$)

D. 6 Fazit der tierexperimentellen Studie

Durch abgestufte Alkaloidgehalte wurde das Ziel verfolgt, den Einsatz der Weißen Lupine in Abhängigkeit von der Sorte (unter Einhaltung der Grenzwerte für futtermitteltaugliche Lupinen (500 mg/kg Gesamtalkaloide)) und deren Auswirkungen auf die Leistungsparameter zu bewerten. Des Weiteren wurden in diesem Versuch Mais und Sojaextraktionsschrot durch regionale Futterkomponenten ersetzt, welche sich bereits in vergangenen Studien etabliert hatten.

Der Leistungsversuch zeigte, während der 28 Versuchstage, dass der Austausch von Mais und Sojaextraktionsschrot durch heimische Futtermittelkomponenten (Körnerhirse, Erbsen, Rapsextraktionsschrot, Sonnenblumenextraktionsschrot und Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege) möglich ist. Auch der Einsatz von 15 % der Weißen Lupine war ohne negative Auswirkungen auf die Leistungsparameter der Tiere möglich. Dabei konnte kein Zusammenhang zwischen dem Alkaloidgehalt im Futter und den Leistungsparametern festgestellt werden.

Anhand dieser Ergebnisse scheint der Einsatz von 15 % Weißer Lupinen, in Kombination mit heimischen Futterkomponenten, unabhängig von der Sorte und den darin enthaltenen Alkaloiden (unter Einhaltung der Grenzwerte), ohne negative Auswirkungen auf die Leistungsparameter, in der Ernährung von wachsenden Masthühnern möglich zu sein.

E. Leistungsstudie 5: Alternative Eiweißfuttermittel in der Broilerfütterung

In nachfolgender tierexperimenteller Untersuchung wurden im Rahmen einer Bachelorarbeit des Studiengangs Agrarwirtschaft, alternative Eiweißfuttermittel, darunter Körnerhirse, Erbsen und Weiße Lupinen, in der Fütterung von wachsenden Masthühnern untersucht.

Die Versuchsdauer erstreckte sich über einen Zeitraum von 35 Tagen (03.12.2021 bis 07.01.2022).

E. 1. Tiermaterial und Aufstallung

Für den Versuch standen insgesamt 400 gesunde, vitale, männliche Broiler (Ross 308) zur Verfügung. Diese wurden als Eintagsküken bei der Brüterei *Probroed & Sloom* (Vreden, Deutschland) eingekauft und zu Versuchsbeginn gleichmäßig auf die vier Futtervarianten verteilt. Für die Studie standen vier Buchten in Bodenhaltung (Abbildung 37) auf dem elterlichen Betrieb der Studentin zur Verfügung (eine Bucht pro Wiederholung à 100 Tiere). Die Buchten wurden mit Hobelspänen eingestreut. Wasser stand den Tieren über eine Nippeltränke *ad libitum* zur Verfügung. Die Futterdarbietung wurde im Versuchsverlauf der Tiergröße angepasst und so gefüttert, dass das Futter ebenfalls *ad libitum* zur Verfügung stand. Das Stallklima wurde mittels Wärmelampen, Gasheizung, Zu- und Abluft reguliert. Ab dem 12.12. wurde ein Lichtprogramm mit 16 Stunden Licht (06:00-22:00 Uhr) durchgeführt.



Abbildung 372: Versuchsstallungen, Bodenhaltung (Leistungsstudie 5, Foto: Lausberg, 2022)

E. 2. Futterrationen und Inhaltsstoffe

Futter und Wasser stand den Tieren, über den gesamten Versuchszeitraum, *ad libitum* zur Verfügung. Für den Versuch wurden vier verschiedene einfache Hofmischungen (Variante A bis D) mit unterschiedlichen Eiweißkomponenten hergestellt. Die Kontrollvariante (A) bestand aus einem soja-getreide-basierten Standard-Broilermastfutter. Bei Variante B wurde ein Teil des SES durch Weiße Lupine als Eiweißkomponente ersetzt und Körnerhirse als Energieträger, als Alternative zu Weizen eingesetzt. Bei der Weißen Lupine handelte es sich um eine Mischung der Binger Sorten aus dem Anbaujahr 2021. Variante C und D enthielten beide Weizen als Energieträger, während bei Variante C einen Teil des SES durch Erbsen ersetzt, und bei Variante D Erbsen und Larvenmehl (BSFL) als Eiweißkomponente eingesetzt wurde (Tabelle 54). Die Fütterung wurde in zwei Phasen unterteilt: Starter: Tag 1-21 und Finisher: Tag 21-35. Die Einzelkomponenten wurden im Futterzentrum der Technischen Hochschule in Bingen zunächst geschrotet (Abb. 38/39), dann entsprechend des Mischplans vermischt.

Tabelle 54: Mischverhältnis der eingesetzten Futtermischungen (Leistungsstudie 5)

Phase Varianten	Starter				Finisher			
	A Soja	B Lupine	C Erbsen	D Larven	A Soja	B Lupine	C Erbsen	D Larven
Futtermittel (%):								
Weizen	70		64	71	70		71	71
Körnerhirse		66				71		
Sojaextr.schrot	21	15	17		21			
Weiße Lupine		10				20		
Erbsen			10	10			20	5
Larvenmehl (BSFL)				10				15
Mineralfutter	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Kalk	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
Öl	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Salz	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3



Abbildung 38: Futtermischungen A bis D, Starter (Foto: Lausberg, 2021)



Abbildung 39: Futtervarianten A bis D, Finisher (Foto: Lausberg, 2021)

E. 3. Datenerfassung

Zu Versuchsbeginn wurden die Tiere gleichmäßig, mit gleichem durchschnittlichem anfänglichem Körpergewicht, auf die vier Futtervarianten aufgeteilt. Die Lebendmasse der Tiere wurde wöchentlich erfasst. Die Wiegung am ersten und siebten Tag fand in Gruppen von je 10 Tieren statt, in den darauffolgenden Terminen wurden dem Einzelgewichte erfasst. Die Futteraufnahme wurde täglich aufgezeichnet, indem die Einwaagen morgens und abends sowie die Rückwaage und die Futterverluste abends dokumentiert wurden. Aus den wöchentlich erfassten Wiege- und Futterdaten wurde anschließend die täglichen Zunahmen, die tägliche Futteraufnahme sowie der Futteraufwand berechnet.

Die Tiergesundheit und Einstreubeschaffenheit wurden täglich dokumentiert. Um den Gesundheitszustand der Tiere beurteilen zu können, erfolgte eine tägliche Tierkontrolle durch professionelles Personal. Jede Abweichung bezüglich des äußeren Erscheinungsbildes oder Verhaltens, die Stalltemperatur und Luftfeuchte wurden im Stallbuch dokumentiert. Falls sich ein Tier in einem schlechten gesundheitlichen Zustand befand und nach genauerer Beobachtung festgestellt wurde, dass sich dieser Zustand nicht verbessert hat, wurde es aus dem Versuch herausgenommen. Zum Versuchsende wurden außerdem die Fußballen und das Federkleid bonitiert.

Für die Fußballen wurde jedem Tier eine Note von 1 bis 4 gegeben. Die Note 1 bedeutet, dass keine Verschmutzung vorliegt. Bei der Note 2 handelt es sich um ablösbare Verschmutzungen und bei der Note 3 um nicht ablösbare Verschmutzungen. Die Note 4 bedeutet, dass eine Fußballenentzündung vorliegt – trat im Versuch nicht auf (Abbildung 40).

Für die Entwicklung des Gefieders wurden ebenfalls Noten von 1 bis 4 vergeben. Die Note 1 bedeutet, dass das Tier ein volles/dichtes weißes Gefieder besitzt. Die Note 2 bedeutet, dass das Tier ein volles weißes Gefieder besitzt aber noch einen gelben Kopf. Bei der Note 3 ist das Tier wenig befiedert und bei der Note 4 besitzt es noch hauptsächlich gelben Flaum (Abbildung 41).



Abbildung 40: Fußballen-Bonitur: links, keine Verschmutzung; mittel, ablösbare Verschmutzung; rechts, nicht ablösbare Verschmutzung (Fotos: Lausberg, 2021)



Abbildung 41: Federkleid-Bonitur: von links nach rechts: volles weißes Gefieder; weißes Gefieder, gelber Kopf; schlecht/wenig befiedert; viel gelber Flaum (Fotos: Lausberg, 2021)

E. 5. Ergebnisse

E. 5.1 Futtermittelanalysen

Die Futtermittelanalyse der wichtigsten Rohnährstoffe erfolgt nach der Methode der VDLUFA (2007) [Trockenmasse: VDLUFA III 3.1; Rohprotein: VDLUFA III 4.1.1; Rohfaser: VO (EG) 152/2009,III,I; Rohfett: VO (EG) 152/2009,III,H]. Die Ergebnisse der Futtermittelanalysen der eingesetzten Futtermittelsvarianten sind in folgender Tabelle dargestellt:

Tabelle 559: Bruttoenergie (MJ/kg) und analysierte Rohnährstoffgehalte (g/kg TS) im eingesetzten Futter (Leistungsstudie 5)

	Starter				Finisher			
	A Soja	B Lupine	C Erbse	D Larven	A Soja	B Lupine	C Erbse	D Larven
Bruttoenergie	15,32	15,87	15,13	15,70	15,02	16,07	14,62	15,65
Trockensubstanz	885	909	886	890	888	904	884	893
Rohasche	69	74	85	79	96	73	79	94
Rohprotein	177	172	175	152	195	130	131	168
Rohfaser	35	35	35	29	28	31	29	33
Rohfett	17	34	17	35	18	43	17	37

E. 5.2 Leistungsdaten

Die Ergebnisse Wachstumsleistung sind in Tabelle 56 dargestellt. Der Futteraufwand wurde in Abbildung 42 visualisiert.

Zu Versuchsbeginn unterschieden sich die durchschnittlichen Körpergewichte nicht innerhalb der Futtermittelsvarianten. Bereits ab Versuchstag sieben unterschieden sich die Futtermittelsvarianten B (Lupine), C (Erbsen) und D (Larven) signifikant von der Kontrollgruppe. Dieser Trend setzte sich bis zum Versuchsende fort. An Tag 35 waren die Körpergewichte der Kontrollgruppe signifikant höher als die der anderen Versuchsvarianten. Variante B (Lupine) zeigten die geringste Lebendmasse (A > C > D > B).

Tabelle 5610: Ergebnisse der Wachstumsleistung (Leistungsstudie 5)

Lebendmasse, g		A Soja	B Lupine	C Erbsen	D Larven
Tag 1	MW	44,54	44,52	44,53	44,50
	S	1,78	1,55	1,50	1,68
Tag 7	MW	110,53 ^a	80,42 ^b	104,16 ^b	86,37 ^b
	S	7,40	2,50	3,87	4,64
Tag 14	MW	207,5 ^a	135,39 ^b	211,44 ^a	151,27 ^b
	S	40,01	22,47	43,48	30,57
Tag 21	MW	364,60 ^a	224,71 ^b	371,09 ^a	240,56 ^b
	S	67,76	45,32	82,75	59,62
Tag 28	MW	598,60 ^a	308,15 ^b	517,85 ^b	373,51 ^b
	S	120,24	74,78	123,72	110,27
Tag 35	MW	879,55 ^a	488,33 ^b	693,51 ^b	614,80 ^b
	S	188,27	129,69	148,55	176,72

^{a, b, ...} signifikanter Unterschied, P < 0,05

Der Futteraufwand ist in Abbildung 42 dargestellt. Im Allgemeinen war zu beobachten, dass mit zunehmendem Alter der Tiere (Versuchswoche), der Futteraufwand/die Futterverwertung sinkt. Variante A (Soja) konnte während der gesamten Versuchsphase das Futter am effizientesten in Zunahmen generieren. Variante C (Erbse) liegt in Versuchswoche 2 und 3 auf einem Niveau der Kontrollgruppe. In Versuchswoche 5 ist der Futteraufwand bei Variante A, B und D vergleichbar, während Variante C einen erhöhten Futteraufwand zeigte. Der Futteraufwand in Variante C (Erbsen) erhöhte sich in der Finisherphase, im Vergleich zur Starterphase.

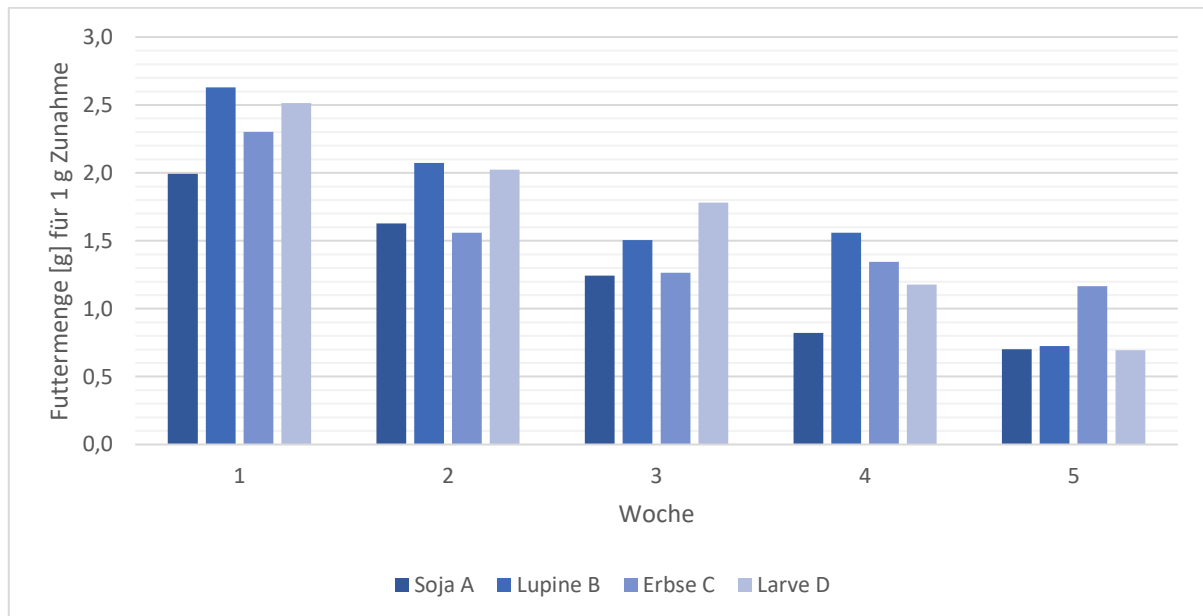


Abbildung 42: Ergebnisse der Futtereffizienz während der 35 Versuchstage (Leistungsstudie 5)

E. 5.1. Gesundheitsstatus der Tiere

Bei der Abschlusswiegung am 35. Versuchstag wurden die Fußballen nach Verschmutzungsgrad beurteilt und das Gefieder nach der Entwicklung. Die Ergebnisse der Fußballen- und Federkleid-Bonitur sind in Abbildung 43 und 44 dargestellt.

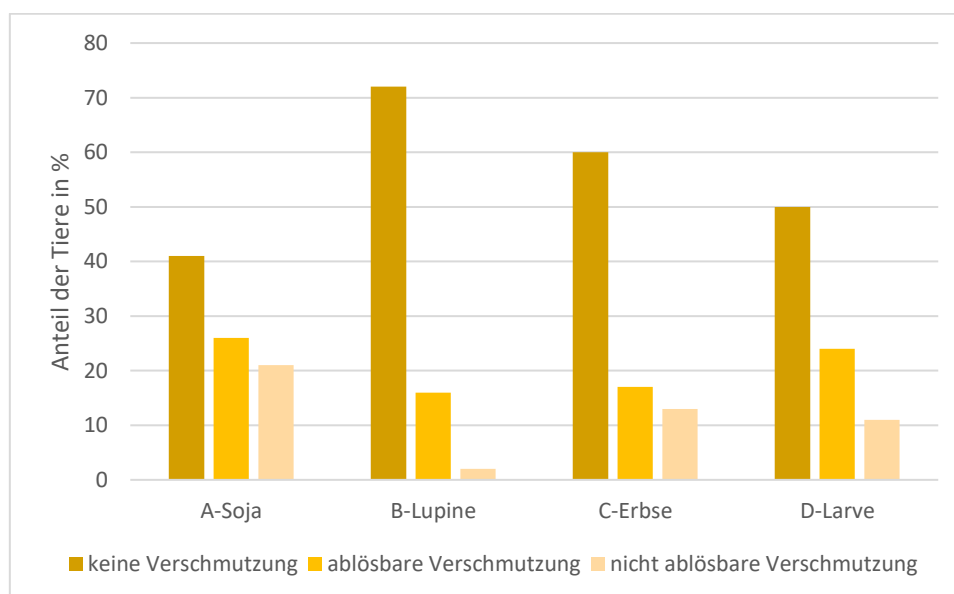


Abbildung 43: Fußballen-Bonitur an Versuchstag 35 (Leistungsstudie 5)

In der Kontrollgruppe (A) gab es ca. 40 Tiere ohne Verschmutzungen an den Fußballen, mehr als 20 Tiere mit ablösbaren Verschmutzungen und circa 20 Tiere mit nicht ablösbaren Verschmutzungen. Somit haben circa 25 % der Tiere aus der Gruppe A nicht ablösbare Verschmutzungen und damit die meisten nicht ablösbaren Verschmutzungen im Vergleich zu den anderen Gruppen. In Variante B (Lupine) gab es wenige Tiere mit nicht ablösbaren Verschmutzungen, circa 15 Tiere mit ablösbaren Verschmutzungen und über 70 Tiere hatten keine Verschmutzungen an den Fußballen. In der Gruppe C (Erbsen) gab es ähnlich viele Tiere mit ablösbaren Verschmutzungen, aber mehr Tiere mit nicht ablösbaren Verschmutzungen als in Gruppe B. In Variante C (Erbsen) hatten 60 Tiere keine Verschmutzungen an den Fußballen und bei Variante D (Larven) waren es 50. In der Variante D gab es über 20 Tiere mit nicht ablösbaren Verschmutzungen und circa 10 Tiere mit nicht ablösbaren Verschmutzungen. Somit waren die Fußballen in der Reihenfolge B < C < D < A am saubersten.

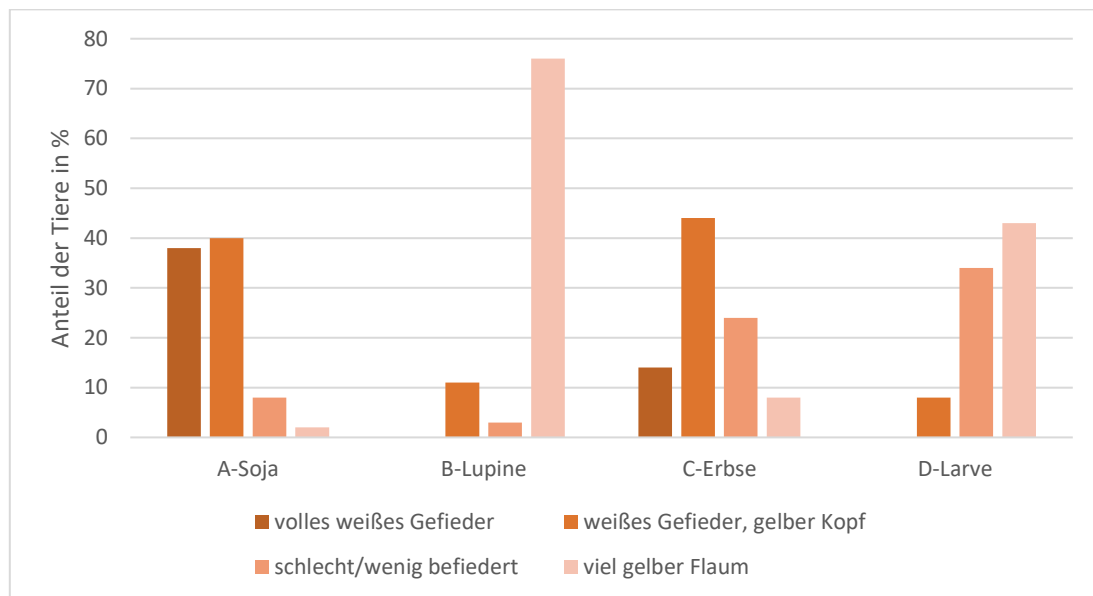


Abbildung 44: Federkleid-Bonitur an Versuchstag 35 (Leistungsstudie 5)

In der Kontrollgruppe (A) gab es ca. 40 Tiere mit vollem weißem Gefieder und ähnlich viele mit weißem Gefieder mit gelbem Kopf. Weniger als 10 Tiere waren schlecht befiedert. Nur zwei Tiere zeigten einen noch gelben Flaum. Bei der Variante B (Lupine) gab es kein Tier mit vollem weißem Gefieder und über 70 Tiere mit viel gelben Flaum. Es gab kaum Tiere die schlecht/wenig befiedert waren und circa 10 Tiere mit weißem Gefieder und gelbem Flaum. Die Tiere der Gruppe C (Erbsen) hatten hauptsächlich weißes Gefieder mit gelbem Flaum am Kopf. Mehr als 20 Tiere der Gruppe C waren schlecht befiedert, mehr als 10 Tiere mit vollem weißem Gefieder und weniger als 10 Tiere mit viel gelbem Flaum. In Variante D (Larven) waren die Tiere überwiegend schlecht befiedert. Kein Tier zeigte ein volles weißes Gefieder. Der Großteil der Tiere dieser Variante war wenig/schlecht befiedert oder mit viel gelbem Flaum.

E. 6 Fazit der tierexperimentellen Studie

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass Sojaextraktionsschrot mit Lupinen, Hirse, Erbsen und Larvenmehl nur teilweise substituiert werden kann. Die Tiere der Versuchsvarianten zeigten eine verringerte Wachstumsleistung und einen schlechteren Zustand des Federkleides, im Vergleich zur Kontrollgruppe. Im Allgemeinen wird das Potenzial des Larvenmehls als Substitution für SES anhand dieser Ergebnisse höher angesehen als das von Lupinen und Erbsen.

F. Leistungsstudie 6: Legehennen-Fütterung: Alternative Eiweißkomponenten für Sojaextraktionsschrot

In nachfolgender tierexperimenteller Untersuchung wurden im Rahmen einer Projektarbeit (Masterstudiengang Landwirtschaft und Umwelt) Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege und Weiße Lupinen als Ersatz für Sojaextraktionsschrot, und deren Auswirkungen auf die Legeleistung, untersucht.

Die Versuchsdauer erstreckte sich über einen Zeitraum von 126 Tagen (30.06. bis 03.11.2022).

F. 1. Tiermaterial und Aufstallung

Für den Versuch standen insgesamt 240 Legehennen der Rasse Lohmann Brown, im Alter von 5 Monaten, zur Verfügung. Die Studie wurde auf einem landwirtschaftlichen Betrieb (Guth in Hivingen, Luxemburg) durchgeführt. Zu Versuchsbeginn wurden die Tiere gleichmäßig den drei Futtermitteln zugeteilt. Der Stall bestand aus 6 Abteilen für jeweils 20 Hennen (2 Buchten je Variante) (Abbildung 45).



Abbildung 45: Versuchsstall (Leistungsstudie 6, Foto: Berriri, 2022)

F. 2. Futterrationen und Inhaltsstoffe

Futter und Wasser stand den Tieren, über den gesamten Versuchszeitraum, *ad libitum* zur Verfügung. Variante A (Soja) bestand aus einem Standard-Legehennen-Futter, basierend auf Weizen, Mais, Sojaextraktionsschrot (SES), Sonnenblumenextraktionsschrot und Triticale. In Variante B (Lupine) wurde SES vollständig durch die Weiße Lupine - in Variante C (Larven) durch Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege ersetzt. Bei der Weißen Lupine handelte es sich um eine Mischung der Binger Sorten aus dem Anbaujahr 2021. Bei beiden Varianten (B und C) wurde Triticale durch Erbsen ersetzt (Tabelle 57). Die Futterrationen wurden weitestgehend isokalorisch und isonitrogen ausgeglichen. Die Einzelkomponenten wurden im Futterzentrum der Technischen Hochschule in Bingen zunächst geschrotet, dann entsprechend des Mischplans vermischt (Abbildung 46).

Tabelle 57: Mischverhältnis der eingesetzten Futtermitteln (Leistungsstudie 6)

Futtermittel (%)	A <i>Soja</i>	B <i>Lupine</i>	C <i>Larvenmehl</i>
Weizen	34,35	34,35	36,48
Mais	20,00	20,00	21,24
Sojaextraktionsschrot	14,45		
Weißer Lupine		15,00	
Larvenmehl (BSFL)			10,00
Sonnenblumenextraktionsschrot	10,00	10,00	10,62
Erbsen		4,21	4,45
Triticale	5,00		
Rapsöl	3,70	3,70	3,93
Maiskeime	2,30	2,30	2,44
Premix, AS	10,20	10,44	10,84



Variante A



Variante B



Variante C

Abbildung 46: Futtermitteln (Leistungsstudie 6)

F. 3. Datenerfassung

Zu Versuchsbeginn wurden die Tiere gleichmäßig, mit einem durchschnittlichen anfänglichen Körpergewicht von 1632 g ±161, auf die drei Futtermitteln aufgeteilt. Die Lebendmasse der Tiere und die Futtermitteln wurden wöchentlich von Versuchstag 0 (BW0) bis 126 (BW126) erfasst, um die täglichen Zunahmen zu berechnen. Zudem wurden täglich die Eier je Bucht gezählt, sowie 3 Eier je Bucht gewogen, woraus die Legeleistung, das mittlere Eigewicht sowie der Futtermitteln berechnet wurden. Diese wurden wie folgt berechnet:

$$\text{Legeleistung [\%]} = \frac{\text{Anzahl der Eier} * 100}{\text{Legehennentage}}$$

$$\text{Mittleres Eigewicht} \left[\frac{\text{g}}{\text{Ei}} \right] = \frac{\text{Gesamteigewicht [g]}}{\text{Anzahl der Eier}}$$

$$\text{Futtermitteln} \left[\frac{\text{kg Futter}}{\text{kg Ei}} \right] = \frac{\text{Futtermittelnverbrauch [kg]}}{\text{Eimasse [kg]}}$$

Um den Gesundheitszustand der Tiere beurteilen zu können, erfolgte eine tägliche Tierkontrolle durch professionelles Personal. Jede Abweichung bezüglich des äußeren Erscheinungsbildes oder Verhaltens, die Stalltemperatur und Luftfeuchte wurden im Stallbuch dokumentiert. Falls sich ein Tier in einem schlechten gesundheitlichen Zustand befand und nach genauerer Beobachtung festgestellt wurde, dass sich dieser Zustand nicht verbessert hat, wurde es aus dem Versuch herausgenommen.

Die statistische Auswertung wurde mit dem Programm SPSS (*IBM SPSS Statistics*) durchgeführt. Mit Hilfe des allgemeinen linearen Modells (GLM) wurde eine Varianzanalyse durchgeführt, wobei die Mittelwerte aller Varianten durch einen post-hoc-Tukey-HSD-Test gegenübergestellt wurden. Signifikante Unterschiede mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $P < 0,05$ sind dabei in Kleinbuchstaben in den jeweiligen Ergebnistabellen dargestellt. Mittelwerte, die durch einen gleichen Buchstaben markiert sind, unterscheiden sich nicht signifikant.

F. 5. Ergebnisse

F. 5.1 Futtermittelanalysen

Die Futtermittelanalyse der wichtigsten Rohnährstoffe erfolgt nach der Methode der VDLUFA (2007) [Trockenmasse: VDLUFA III 3.1; Rohprotein: VDLUFA III 4.1.1; Rohfaser: VO (EG) 152/2009,III,I; Rohfett: VO (EG) 152/2009,III,H]. Die Ergebnisse der Futtermittelanalysen der eingesetzten Futtervarianten sind in Tabelle 58 dargestellt:

Tabelle 58: Analytierte Rohnährstoffe im eingesetzten Futter (Leistungsstudie 6)

		A	B	C
		Soja	Lupine	Larvenmehl
Trockensubstanz	g/kg OS	888	890	894
Rohprotein	g/kg OS	153	151	151
	g/kg TS	172	170	203
Rohfett	g/kg OS	52	63	67
	g/kg TS	59	71	75
Rohfaser	g/kg OS	39	49	51
	g/kg TS	44	55	57
Rohasche	g/kg OS	11	11	12
	g/kg TS	13	12	13

F. 5.2 Leistungsdaten

In Abbildung 47 wurden die Mittelwerte der Körpergewichte der Legehennen je Versuchsvariante dargestellt. Es wurde lediglich an BW35 und BW98 ein signifikanter Unterschied ($P>0,05$) in der Lebendmasse der Hennen beobachtet. In Anbetracht der Temperaturkurve (Abbildung 48, gelb) ist zu erkennen, dass bei den Körpergewichten der Legehennen in Variante C (Larven) stabiler bei Temperaturschwankungen ist, im Vergleich zu Variante A und B.

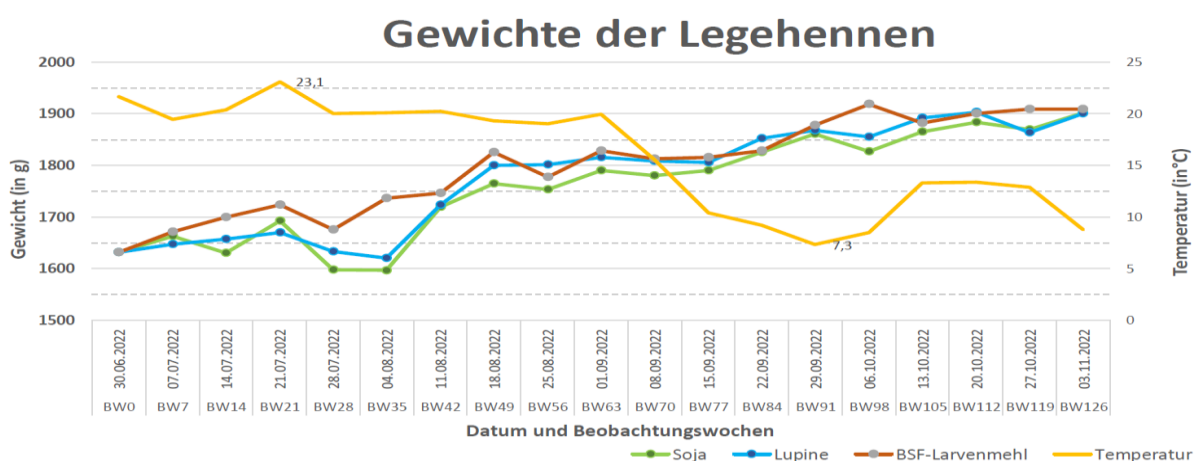


Abbildung 3: Gewichtsentwicklung der Legehennen und Temperaturverlauf

Im Allgemeinen wurden in der Futteraufnahme keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Die Ergebnisse der berechneten Legeparameter sind in Tabelle 59 dargestellt. Es gab numerische, aber keine signifikanten Unterschiede. Die Legeleistung der Tiere, welche mit Lupinen gefüttert wurde, war numerisch verringert, während zwischen der Soja- und Larvenfütterung keine Unterschiede zu

beobachten waren. Das mittlere Eigewicht hingegen war bei der Lupinenfütterung numerisch höher, bei der Sojafütterung am geringsten. Dies spiegelt sich in einem numerisch höheren Futteraufwand in der Sojavariante (A) wider, während der geringste Futteraufwand in Variante C (Larvenmehl) kalkuliert wurde.

Tabelle 59: Ergebnisse der Legeparameter (Leistungsstudie 6)

Variante		A	B	C	SEM	P-Wert
		Soja	Lupine	Larvenmehl		
Legeleistung, %	MW	79,30	74,98	79,26	2,47	0,460
	S	3	18	2		
Gesamte Eizahl		2630	2599	2632		
Gesamte Eimasse		38,10	40,30	39,50		
Mittleres Eigewicht	MW	58,03	61,49	60,23	2,33	0,431
	S	5	5	7		
Futteraufwand (kg Futter/kg Ei)*		4,40	3,80	3,30		

*Schätzwert

F. 5.1. Gesundheitsstatus der Tiere

Der Gesundheitszustand der Tiere wurde täglich überwacht. Bei Auffälligkeiten wurde eine Federkleid-Bonitur durchgeführt. Im Allgemeinen zeigten die Tiere der Variante C (Larven) ein volleres Federkleid im Vergleich zu den anderen beiden Futtervarianten. Die Tiere der Variante B (Lupinen) hatten das vergleichsweise schlechteste Federkleid (Abbildung 49). Während der 126 Versuchstage gab es zudem keine Verluste oder sonstige gesundheitliche Auffälligkeiten.



Abbildung 49: Federkleid-Bonitur: von links nach rechts: Variante A (Soja), Variante B (Lupinen), Variante C (Larven) (Leistungsstudie 6, Foto: Berriri, 2022)

F. 6 Fazit der tierexperimentellen Studie

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die Weiße Lupine (15 %) sowie Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege (10 %) als alternative zu Sojaextraktionschrot in der Ernährung von Legehennen geeignet sind. Es gab keine signifikanten Unterschiede bei den Körpergewichten oder der Legeleistung. Die Fütterung mit Larvenmehl schien eine bessere körperliche Stabilität bei Temperaturschwankungen zu bieten.

3.3 Haupt- und Nebenergebnisse des Vorhabens

Eine Innovation wurde im Vorhaben generiert, da zwei neue Kulturen auf ihre Anbaueignung und Verwertung in Rheinland-Pfalz geprüft werden konnten und nun für die hiesige Praxis fundierte Erkenntnisse zu deren Stärken und Schwächen existieren. Mit den Projekterkenntnissen ist es möglich das Kulturartenspektrum in RLP für zumindest manche Regionen zu erweitern und damit auf den Klimawandel zu reagieren und die heimische Eiweißpflanzenproduktion zu verbessern. Die Ergebnisse bieten das Potential die regionale Vermarktung in der Geflügelproduktion zu stärken.

3.4 Beitrag der Ergebnisse zu den förderpolitischen Zielen

Die Ergebnisse des Projektes haben eine Bedeutung für große Teile des rheinland-pfälzischen Ackerbaus. Neue wirtschaftlich interessante Kulturarten, gerade Leguminosen, werden dringend gebraucht, um den aktuellen Anforderungen (Düngeverordnung, Klimawandel, Klimaschutz und Pflanzenschutzmittelintensität) gerecht werden zu können und die Anbausysteme entsprechend zu modifizieren. Die Projektergebnisse leisten hier einen Beitrag.

Es konnten Anbauempfehlungen für die Weiße Lupine und Sorghum erarbeitet werden. Die Erkenntnis, dass der Anbau der Weißen Lupine auf Flächen mit freiem Kalk nicht gelingt, kann viele Landwirte vor eigenen Fehlversuchen und damit verbunden finanziellen Verlusten bewahren. Weiter ist es bedeutsam, die hohen Alkaloidwerte einiger Weiße Lupine Sorten zu kommunizieren sowie auf deren Schwankungen zwischen Standorten und Sorten hinzuweisen. Eine genaue Beobachtung und ein vorsichtiger Einsatz der Weißen Lupine in der Fütterung (mit deutlich geringeren Anteilen als zu Projektbeginn veranschlagt) sind hier notwendig.

Durch den Anbau von Sorghumhirse kann dem förderpolitischen Ziel einer klimaangepassten Landwirtschaft Rechnung getragen werden. Trotz ausgeprägter Trockenheit 2020 und 2022 war der Anbau von Sorghum gut möglich. Es konnten Sorten mit ausreichender Frühreife identifiziert werden, die im Rheintal wie auch bis zu 280 m Höhenlage abreifen konnten. Weiter zeigte sich für Lupinen kein zusätzlicher Düngerbedarf, wodurch den Zielen einer ressourcenschonenden und nachhaltigeren Landwirtschaft näher gekommen wird. In beiden Kulturen ist die mechanische Unkrautregulierung möglich und eine Kombination mit ausgewählten chemischen Präparaten verspricht eine erfolgreiche Unkrautregulierung ohne Ertragseinbußen und sicheren Erträgen. Gerade im Sorghum ist eine Kombination aus einer Einzelkornsaat in Verbindung mit Hackmaschine und der Bandapplikation von Herbiziden sehr gut möglich. Der einmalige Einsatz eines Pflanzenschutzmittels auf ca. 1/3 der Anbaufläche ist für die Führung der Kultur Sorghum denkbar, da derzeit kaum Schaderreger in Sorghum auftreten. Ähnliches gilt für die Weiße Lupine, wobei der flächige Einsatz eines Herbizids hier eher anzuraten ist. Insgesamt erwiesen sich aber beide hier geprüfte Kulturen als derzeit sehr Pflanzenschutzmittel extensiv. Ein Anbau unter ökologischen Landbaubedingungen ist denkbar, aber anspruchsvoll gerade im Hinblick auf die Unkrautkontrolle.

Die Verfütterung von Sorghum als Maissubstitution an Geflügel erwies sich als praktikabel. Dabei konnten Austauschraten von nahezu 100 % umgesetzt werden. Dies ist vielversprechend für den hiesigen Sorghumanbau in geeigneten Lagen (Weinbauklima).

Die genannten Vorteile der beiden Kulturen kommen der regionalen Landwirtschaft zugute und können zur Stärkung dieser beitragen.

Als Hemmnis in der Praxis wurde bei der Sorghumhirse die Aussaat herausgestellt. Es bedarf der Kommunikation der genauen Saatbetanforderungen der Sorghumhirse. Auch Vogelfraß sowohl nach der Saat als auch zur Reife erwies sich als problematisch in der Praxis. Dies zu kommunizieren und in der Praxis zu begleiten, ist ein weiterführendes Ziel über die Projektlaufzeit hinaus.

3.5 Erreichung der Ziele des Vorhabens

Das pflanzenbauliche Ziel, Anbaueignung und –grenzen für die Kulturen Weiße Lupine und Sorghumhirse zu erarbeiten, wurde innerhalb der Projektlaufzeit erreicht. Drei Jahre mit Feldversuchen ergaben eine gute Datengrundlage für die Formulierung der Anbauempfehlungen.

Der Anbau der Weißen Lupine auf Praxisflächen in Rheinhessen konnte nicht umgesetzt werden, weil der dort vorkommende freie Kalk ungeeignet für die Weiße Lupine ist. Die Sorghumbestände entwickelten sich am Standort Wörrstadt schlecht und von einer Beerntung wurde in allen Jahren abgesehen. Die dort erkennbaren Schwierigkeiten bei der Aussaat von Sorghum waren ein wichtiger Input für das Projekt und werden in den Anbauanleitungen kommuniziert.

Das Ziel, die Möglichkeiten über die Verfütterung von Sorghum und Weißer Lupine an Geflügel zu erarbeiten wurde innerhalb der Projektlaufzeit erreicht. Die tierexperimentellen Studien ergaben eine gute Datengrundlage für die Formulierung von Fütterungsempfehlungen. Das Ziel, auch in der Praxis Fütterungsversuche in größerem Umfang durchzuführen, wurde nicht erreicht. Die Prüfung von Futterrationen bei Masthühnern und Legehennen in den Praxisbetrieben lieferten verwertbare Ergebnisse. Im Allgemeinen führten die Studien zu dem Schluss, dass Körnermais vollständig durch Sorghum in der Ernährung von Masthühnern ersetzt werden kann. Der Einsatz hoher Mengen an Weißer Lupine führte in der Tierernährung zu Problemen. Hier haben sich 10-15 % Einsatzmenge an Weißer Lupine bewährt.

Die Vermarktung eines neuen Produkts, eines „Lupi-Hirse-Huhns“, also Geflügelprodukte auf alleiniger Basis heimisch erzeugter Futtermittel konnte nicht erreicht werden, da sich die Verfütterung von Lupine als schwierig herausstellte. Ein zu Projektbeginn angestrebter vollständiger Ersatz des Sojaanteils in der Futterratur kann aufgrund der „Restalkaloidgehalte“ der Weißen Lupinen gerade bei den aktuell relevanten Sorten (Anthraknose-Toleranz) derzeit nicht empfohlen werden. Von einer entsprechenden Aktivität dahingehend durch das OG-Mitglied HNV-Hunsrück-Nahe-Vermarktungsgesellschaft mbH wurde daher abgesehen.

Ergebnisverwertung, Kommunikation und Verstetigung

3.6 Nutzen der Ergebnisse für die Praxis

Die erarbeiteten Anbauempfehlungen für Weiße Lupine und Sorghum sind für die Praxis von Nutzen, da sie die Möglichkeiten und Grenzen der beiden Kulturen, fundiert auf einer großen Datenbasis, aufzeigen.

Die mit dem Anbau der beiden Kulturen verbundenen Vorteile wurden bereits aufgeführt und nutzen ebenfalls dem Landwirt in der Praxis.

3.7 (Geplante) Verwertung/Verbreitung und Nutzung der Ergebnisse

Im Rahmen des Projektes wurden bislang folgende Beiträge veröffentlicht:

Rosenhauer, M., J. Petersen (2021): Einsatz von Herbiziden in der weißen Lupine (*Lupinus albus*). Julius-Kühn-Archiv, 467, 62. Deutsche Pflanzenschutztagung – 21. bis 23. September, 531.

Petersen, J. (2022): Weiße Lupine – Es gibt noch Unsicherheiten. DLG-Mitteilungen, Saatgutmagazin Winter 202, 12-13.

Dusel, G.; J. Petersen (2022): Anbau von Körnersorghum in Deutschland – Verwertung in der Geflügelhaltung. Mais 2(49), 36-39.

Petersen, J. (2021): Weiße Lupine und Sorghumhirse – Neue Möglichkeiten im Ackerbau? Rheinische Bauernzeitung 43, 14-15.

Harig, P., Stöhr, N., Ibrahim, R., Dusel, G. (2023): Einfluss eines abgestuften Alkaloidgehalts der Weißen Lupine (*Lupinus albus*) auf die Wachstumsleistung von Broilern BOKU-Symposium, Wien (20.04.2023); boku.ac.at/ifa-tulln/tte/boku-symposium-tierernaehrung/archiv (Beiträge 2023 noch nicht in das Archiv eingestellt; Stand: 1.6.2023); Beitrag siehe Anhang

Stöhr, N., Harig, P., Ibrahim, R., Dusel, G. (2023): Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*) und die weiße Lupine (*Lupinus albus*) als alternative Proteinquellen in der Broilermast. Forum angewandte Forschung, Fulda (25.04.2023, Workshop Geflügel); Beitrag siehe Anhang

Im Rahmen des Projektes fand im Juni 2022 ein Feldtag an der Technischen Hochschule in Bingen statt.



Abb. x: Besichtigung der Lupinenversuche in Bingen auf dem Feldtag 2022 (https://www.th-bingen.de/fileadmin/_processed_/9/d/csm_220602-thb-feldtag-news3_1dfd77dc4a.jpg)

Ein früherer Termin musste aufgrund der Corona-Lage verworfen werden.

Durch die Nutzung vorhandener Netzwerke werden die Ergebnisse auch überregional und international zur Diskussion gestellt. Unter anderem ist geplant, die Ergebnisse am landesweiten Agrartag der TH-Bingen im Herbst 2023 der Agraröffentlichkeit zu präsentieren.

Die Anbauanleitungen für den Anbau von Körnersorghum und Weißen Lupinen in Rheinland-Pfalz sowie dieser Projektbericht sind auf der DLR-homepage veröffentlicht. Dies ist besonders sinnvoll, da sich vorrangig Landwirte auf diesen Seiten informieren.

Anbauanleitungen sind einzusehen unter:

Körnerhirse: <https://www.oekolandbau.rlp.de/Oekolandbau/Erzeugung/Pflanzenbau/Kulturen-und-Sortenempfehlungen/Hirse-KoernerhirseAnbauanleitung>

Weißer Lupine: <https://www.oekolandbau.rlp.de/Oekolandbau/Erzeugung/Pflanzenbau/Kulturen-und-Sortenempfehlungen/Lupine-WeisseLupineAnbauanleitung>

3.8 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

Aus den Ergebnissen lässt sich vor allem die wissenschaftliche Fragestellung ableiten, was neben dem Genotyp die Höhe der Alkaloidkonzentration sowie deren Variation beeinflusst. Diese Frage zu klären, wäre wichtig um die Verwertungsmöglichkeiten von Weißen Lupinen sowohl in der Tierernährung als auch in der direkten Lebensmittelproduktion zu verbessern. Dies wäre elementar, um die Anbauwürdigkeit der Weißen Lupine in Rheinland-Pfalz (und darüber hinaus) zu erhöhen.

Zu den wirtschaftlichen Fragestellungen zählen zum einen die Bewertung des Deckungsbeitrages von Weißen Lupinen und von Sorghumhirse an unterschiedlichen Standorten im Vergleich zu anderen

(etablierten) Kulturen. Zum anderen stellt sich die noch offene Frage, wenn es mit alkaloidärmeren Lupinensorten zukünftig gelingt Sojabohnen aus den Geflügelfuttermitteln zu verdrängen, welchen Mehrwert man dadurch in der regionalen Vermarktung von Geflügelprodukten erzielen kann?

4 Zusammenarbeit in der Operationellen Gruppe (OG)

4.1 Gestaltung der Zusammenarbeit

Die operationelle Gruppe setzte sich aus landwirtschaftlichen Betrieben, der Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz, dem Dienstleistungszentrum ländliche Räume Rheinhessen-Nahe-Hunsrück mit dem Kompetenzzentrum Ökologischer Landbau, der HNV-Hunsrück-Nahe-Vermarktungsgesellschaft mbH „SooNahe“ und den Arbeitsgruppen Pflanzenbau und Tierernährung der Technischen Hochschule Bingen zusammen. Die Zusammenarbeit wurde in mehreren OG-Treffen inhaltlich diskutiert und koordiniert. Dabei wurden die gemachten Erfahrungen wechselseitig ausgetauscht und in die Planungen des Folgejahres einbezogen. Die Koordination betrifft die technische Zusammenarbeit zum Beispiel bei der Durchführung von Sortenversuchen durch die TH Bingen auf den Betriebsflächen der OG-Landwirte, der zentralen Beschaffung von Saatgut und Verteilung über die TH-Bingen, der Erfassung, Trocknung und Reinigung von Erntematerial der verschiedenen Standorte in Bingen und die Wiederverteilung vom Erntegut bzw. von selbsthergestellten Futtermischungen an die Landwirte für Praxisversuche mit Geflügel. In Laufe des Projektes wurden auch mehrere Betriebs- und Flächenbesichtigungen vorgenommen, die für den Fortgang des Projektes essentiell waren. Im Zusammenwirken von DLR, LWK und TH wurde ein öffentlicher Feldtag am Standort Bingen in 2022 durchgeführt.

4.2 Mehrwert des Formats einer OG

Durch die in diesem Projekt zusammenwirkende OG war es möglich Feldversuche an unterschiedlichen Standorten, die einen Großteil der rheinland-pfälzischen Standorte repräsentieren, abzudecken. Dadurch ist es möglich die Anbaumöglichkeiten für die beiden „neuen“ Kulturen (Weiße Lupine und Sorghumhirse) landesweit abzuschätzen. Gleichzeitig wurde neben den Anbau auch die Verwertung des Erntegutes geprüft. Dies ist gerade für kleine, neue Kulturen nötig, da kaum ein Handelsmarkt vor Ort existiert. Durch die Eigenverwertung der Erntegüter in hofeigenem Futter mit anschließender Direktvermarktung der Geflügelprodukte konnte diese Herausforderung im Projekt adressiert werden.

4.3 Weitere Zusammenarbeit

Eine direkt an das Projekt anschließende Zusammenarbeit der OG-Mitglieder ist zunächst nicht vorgesehen. Wichtige Projektfragen sind beantwortet und die Beteiligten müssen jeweils Ihre Schlüsse hieraus ziehen. Da der Anbau von der Weißen Lupine in Rheinhessen nicht möglich ist und die Sorghum-Anbauversuche teilweise (Wörrstadt) keine befriedigenden Ansätze ergaben, ist ein Anbau der Kulturen zumindest in den OG-Betrieben zunächst nicht weiter vorgesehen. Eine Ausnahme bildet der Anbau der Weißen Lupine im Hunsrück. Hier waren die Erfahrungen positiv und die Lupinen können zumindest anteilig in die Futtermitteln für die Geflügelhaltung Verwendung finden.

5 Verwendung der Zuwendung

bewilligt	M 16.1	M16.2	Summe
	€	€	€
Personalkosten inkl. Pauschale	33.948,00	330.486,81	364.434,81
Sachausgaben	10.200,00	51.940,00	62.140,00
Analysen		73.425,20	73.425,20
Summe	44.148,00	455.852,01	500.000,01

verausgabt	M 16.1	M16.2	Summe
	€	€	€
Personalkosten inkl. Pauschale	16.460,07	228.449,55	244.909,62
Sachausgaben		29.646,58	29.646,58
Analysen		63.503,55	63.503,55
Summe	16.460,07	321.599,68	338.059,75

6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Allgemeine Schlussfolgerungen:

Das EIP-Projekt beinhaltete sowohl pflanzenbauliche Ziele, als auch die Möglichkeit der Futterumstellung auf regional angebaute Kulturen. Das pflanzenbauliche Ziel, eine Anbaueignung,- und Grenzen für die Kulturen Weiße Lupine und Sorghumhirse zu erarbeiten, wurde innerhalb der Projektlaufzeit erreicht. Für beide Kulturen wurde eine Anbauempfehlung formuliert. Gleichzeitig hat sich aber auch die Grenze des Anbaus der Weißen Lupine herausgearbeitet. Auf Böden mit vorkommendem freiem Kalk, wie dies beispielsweise in Rheinhessen der Fall ist, war in keinem Versuchsjahr möglich. Ebenfalls traten Probleme bei der Aussaat der Sorghumhirse am Standort Wörrstadt auf.

Das weitere Ziel, die angebauten Kulturen Weiße Lupine und Sorghumhirse in die Fütterung von Geflügel zu integrieren wurde ebenfalls innerhalb des Projektes erzielt, wodurch eine Fütterungsempfehlung erarbeitet werden konnte. Ziel des EIP-Projektes war Soja und Körnermais durch die angebauten Kulturen zu ersetzen. Der vollständige Ersatz von Weißer Lupine gegen Soja in der Ernährung hat zu Problemen geführt, weshalb sich ein Einsatz von 10-15% als Einsatzmenge bewährt hat. Ein vollständiger Ersatz von Körnermais gegen Sorghum hat sich dagegen als problemlos erwiesen. In der Summe konnten alle Fütterungsversuche durchgeführt werden, allerdings gab es zwischendrin Wechsel in den vorgesehenen Betrieben durch Ersatzbetriebe.

Das Ziel ein neues Produkt „Lupi-Hirse-Huhn“, sprich ein Geflügelprodukt auf rein regional produzierter Basis, zu erzeugen, wurde innerhalb der Projektlaufzeit nicht erreicht, was an der Schwierigkeit der Fütterung mit weißer Lupine lag. Deshalb wurde von einer entsprechenden Aktivität des OG-Mitgliedes HNV-Hunsrück-Nahe-Vermarktungsgesellschaft mbH abgesehen.

Fazit zur Eignung von EIP-Förderung zur Generierung von Innovation und Schließung von Lücken zwischen Praxis und Wissenschaft und eventuelle Vorschläge zur Weiterentwicklung der EIP-Agri:

Auch in diesem Projekt hat sich gezeigt, dass der Ansatz der EIP-Förderung Wissenschaft und Praxis enger zu verknüpfen, durchaus funktioniert. Durch das Einbeziehen der Praxis können aktuelle Fragestellungen und Probleme wissenschaftlich erforscht und gemeinsam mit der Wissenschaft und Forschung Lösungsansätze erarbeitet werden. Ebenso wird, zumindest in diesem Projekt, eine gesamte Wertschöpfungskette betrachtet, was zum einen die Regionale Betrachtung fördert, wodurch aber auch neue Verbindungen unter den Mitgliedern der OG entstehen, was für künftige Projekte wichtig ist.

Als zunehmend problematisch wird der bürokratische Aufwand angesehen. Viele Vorgänge im Projekt wurden durch den steigenden Bürokratismus, zusammen mit fehlender Flexibilität und z.T. langen Wartezeiten gestoppt und verzögert. Dadurch ist viel Zeit im Projekt verloren gegangen, die deutlich besser hätte genutzt werden können. Ebenso war nicht immer ein Ansprechpartner vorhanden, was gerade bei terminlichen Fristen und Rücksprachen zu Schwierigkeiten geführt hat. Die oben aufgeführten Punkte haben zum Teil zu großem Unmut innerhalb der OG-Gruppe geführt, was eine Beteiligung der Mitglieder, weitere EIP-Projekte durchzuführen, eher abschreckt. Daher sollten sich die Rahmenbedingungen eines EIP-Agri-Projektes in Zukunft entscheidend ändern.

7 Anhang: Veröffentlichungen

1. BOKU-Symposium, Wien (20.04.2023)

Einfluss eines abgestuften Alkaloidgehalts der Weißen Lupine (*Lupinus albus*) auf die Wachstumsleistung von Broilern

Influence of graded alkaloid content of white lupine (*Lupinus albus*) on growth performance in broilers

Petra Harig, Nathalie Stöhr, Riyad Ibrahim, Georg Dusel

University of Applied Sciences, Bingen, Germany

Abstract

The environmental impacts associated with increasing soybean production demands an alternative protein source for sustainable nutrition in livestock diets. The use of white lupins (*Lupinus albus*) as a regional protein source is a possible substitute for soybean meal (SBM) in poultry diets.

Because of the known antinutritive effects of alkaloids, in this study the effect of graded alkaloid content (lupanine) on broiler performance parameters were investigated. A total of 140 one-day-old male broiler chickens (Ross 308) were randomly allocated (10 pens/treatment) to seven treatments: standard diet T1 (corn-soy-based), control diet T2 (regional protein sources), and 5 diets consisting of T2 with 15% white lupins with graded lupanine contents (T3: 6.6 mg/kg, T4: 19.6 mg/kg, T5: 22.6 mg/kg, T6: 31.7 mg/kg, T7: 37.0 mg/kg). From day 1-21 there were two birds/pen, from day 21-28 one bird/pen. They were raised in metabolic pens and fed ad libitum. Body weight (BW) and feed intake (FI) were recorded weekly to calculate average daily feed intake (ADFI), average daily gain (ADG), and feed conversion ratio (FCR). There were no differences ($p > 0.05$) in BW, ADG, and ADFI of birds among all treatments over the whole trial period.

In conclusion, SBM can be replaced by 15% white lupins regardless of the variety of white lupins and their alkaloid content, in compliance with the limit values (500 mg/kg), without significantly decreasing broiler growth performance.

Einleitung

Derzeit stellt Sojaextraktionsschrot (SES) die wichtigste pflanzliche Proteinquelle in der Ernährung von wachsenden Masthühnern dar. Der Anbau von SES ist jedoch mit diversen Umweltbelastungen verbunden. Laut dem World Wide Fund For Nature (WWF) wurden im Jahr 2021 3,4 Mio. Tonnen Soja, überwiegend aus Brasilien, nach Deutschland importiert (Riecher et al., 2023). Die mit dem Sojaanbau in Verbindung stehenden Konflikte lassen sich nicht immer mit den Zielen der Nachhaltigkeit vereinbaren. Die Nutzung regionaler Proteinquellen, wie z.B. die Weiße Lupine stellt einen möglichen regionalen Lösungsansatz zur nachhaltigen Gestaltung der Geflügelernährung dar.

Seit dem Frühjahr 2019 sind in Deutschland anthraknosetolerante Sorten der Weiße Lupinen im Anbau zugelassen. Ihr hoher Rohprotein- (ca. 33 %) und Rohfasergehalt (ca. 11 %) macht die Weiße Lupine für die Ernährung von Masthühnern interessant (Jeroch et al., 2019). In der Weißen Lupine finden sich unter anderem die Alkaloide Lupanin und Spartein (Krist, 2013). Diese können beim Geflügel antinutritive Effekte mit sich bringen und daher einsatzbegrenzend wirken. Der Alkaloidgehalt ist sortenabhängig und konnte in den letzten Jahren züchterisch gesenkt werden. Da Alkaloide wasserlöslich sind, ist eine weitere Senkung durch hydrothermische Verfahren möglich (Vogt-Kaute, 2020). In Futtermitteln liegt der Orientierungswert der Gesamtalkaloide bei 500 mg/kg TM (Engel et al,

2022). In früheren Studien wurde bei einem Einsatz von 40 % Lupinen in der Geflügelration eine verringerte Futterraufnahme und Wachstumsrate der Tiere beobachtet (Olkowski et al., 2001). Unter Berücksichtigung der Futterwertigenschaften wird daher ein maximaler Mischungsanteil im Alleinfuttermittel für Broiler von 15 % empfohlen (Jeroch et al., 2019).

Material und Methoden

In dieser tierexperimentellen Studie wurden die Auswirkungen von abgestuften Alkaloidgehalten auf die Leistungsparameter von Masthühnern untersucht.

Ein Standard-Broilermastfutter (basierend auf Mais, Weizen und Sojaextraktionsschrot) diente als Kontrollgruppe (T1). In einer weiteren Variante (T2) wurden ausgewählte Futterkomponenten mit regionalen Rohwaren (Körnerhirse, Erbsen, Raps- und Sonnenblumenextraktionsschrot sowie Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege) ersetzt. Für die Futtervarianten T3 bis T7 wurden zur Variante T2, entsprechend Tabelle 1, 15 % Weiße Lupine supplementiert. Hierzu wurden zwei Sorten der Weißen Lupine, jeweils mit geringem und hohem Alkaloidgehalt (Amiga vs. Celina) so vermischt, dass eine Abstufung des Lupaningehaltes von 6,6 mg/kg TS bis 37,0 mg/kg TS erreicht wurde. Die Futterrationen T1-T7 wurden weitgehend isokalorisch und isonitrogen ausgeglichen und bei <70 °C pelletiert.

Die Studie fand an der Forschungseinheit für Geflügel an der Technischen Hochschule in Bingen statt. Insgesamt 140, ein Tag alte, männliche und vitale Broilerküken (Ross 308) mit einem anfänglichen Körpergewicht von durchschnittlich 54 g (\pm 4 g) wurden auf die 7 Futtervarianten (10 Wiederholungen/Variante) aufgeteilt und in Stoffwechselbuchten aufgezogen. Futter und Wasser standen den Tieren *ad libitum* zur Verfügung. Aus Gründen des Tierschutzes (Platzbedarf) wurde am Tag 21 von anfänglich zwei Tieren auf ein Tier pro Bucht reduziert. Die Erfassung der Futterraufnahme (FI) und Körpergewichte (BW) erfolgte wöchentlich, um die durchschnittliche tägliche Gewichtszunahme (ADG), die durchschnittliche tägliche Futterraufnahme (ADFI) und die Futterverwertung (FCR) zu berechnen.

Tab. 1: Futtermittelzusammensetzung der einzelnen Varianten

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Futterkomponenten [%]	<i>Standard</i>	<i>Regional</i>	<i>T2 + LU (6,6)</i>	<i>T2 + LU (19,6)</i>	<i>T2 + LU (22,6)</i>	<i>T2 + LU (31,7)</i>	<i>T2 + LU (37,0)</i>
Lupaningehalt [mg/kg]			6,6	19,6	22,6	31,7	37,0
Mais	37,75						
Sojaextr.schrot	35,00						
Weizen	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Körnerhirse		21,85	23,35	23,35	23,35	23,35	23,35
Erbsen		25,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Rapsextr.schrot		10,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Sonnenblumenextr.schrot		10,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Larvenmehl (BSFL)		5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Lupine (LU) Celina				3,75	7,50	11,25	15,00
Lupine (LU) Amiga			15,00	11,25	7,50	3,75	
Premix, AS, Fett	7,25	8,25	6,65	6,65	6,65	6,65	6,65

BSFL = Black Soldier Fly Larvae (Schwarze Soldatenfliegenlarve), LU = Lupine, AS = Aminosäuren

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Leistungsparameter sind in Tabelle 2 dargestellt. Mit steigendem Alkaloidgehalt in den Rationen T3 bis T7 zeigte sich keine lineare Abnahme in den Leistungsparametern der Broiler.

Zum Versuchsende wurden keine signifikanten Unterschiede im BW der Tiere von T1 bis T7 festgestellt. Die mit dem Standardfutter gefütterten Tiere (T1) zeigten die höchsten ADG (+4,7 %), im Vergleich zur niedrigsten ADG der Variante T4 ($p > 0,05$).

Über den gesamten Versuchszeitraum (28 Tage) unterschied sich die ADFI nicht signifikant zwischen den Versuchsvarianten. Die Tiere der Gruppe T5 mit mittlerem Lupanin-Gehalt (22,6 mg/kg) und die Tiere der Gruppe T7 mit dem höchsten Lupanin-Gehalt (37,0 mg/kg) wiesen die höchste ADFI, auf (+2,5 %; $p > 0,05$).

Auch in der FCR wurden keine Unterschiede ($p > 0,05$) bei steigendem Alkaloid-Gehalt beobachtet.

Tabelle 2: Ergebnisse der Leistungsparameter: Abgestufte Alkaloidgehalte der Weißen Lupine (37,0-6,6 mg/kg TS); Tag 1-21: n=20; Tag 21-28: n= 10

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	p-Wert¹
	Standard	Regional	T2 + LU (6,6)	T2 + LU (19,6)	T2 + LU (22,6)	T2 + LU (31,7)	T2 + LU (37,0)	
BW [g]	2090	2027	2046	2015	2080	2050	2056	0,761
Tag 28	±130	±101	±123	±152	±84	±97	±84	
ADG [g]	73	71	71	70	72	71	72	0,561
Tag 1-28	±5	±4	±4	±5	±3	±3	±3	
ADFI [g]	93	92	92	94	96	92	96	0,630
Tag 1-28	±5	±7	±6	±8	±4	±5	±4	
FCR [g/g]	1,25	1,33	1,26	1,32	1,28	1,26	1,30	0,081
Tag 1-28	±0,02	±0,13	±0,02	±0,08	±0,03	±0,05	±0,04	

BW=Körpergewicht, ADG = tägliche Zunahmen, ADFI = tägliche Futteraufnahme, FCR = Futtermittelverwertung, LU = Weiße Lupine

Mittelwerte ± Standardabweichung; ¹ P- Wert nach post-hoc-Tukey-HSD ($p < 0,05$)

Diskussion und Schlussfolgerung

Die beiden Lupinensorten Celina und Amiga liegen mit ihren Alkaloidgehalten unter dem Orientierungswert von 500 mg/kg und sind somit für die Broilerfütterung bedenkenlos nutzbar. Die von JEROCH et al. (2013) empfohlene Einsatzrate von 15 % Weißer Lupine im Broilermastfutter bestätigt sich in dieser Studie. Unabhängig der Alkaloidgehalte wurde eine vergleichbare Wachstumsleistung und Futtereffizienz der Tiere festgestellt. Eine Differenzierung der Sorten nach Alkaloidgehalten bei Zugabe von max. 15 % Weißer Lupine im Broilermastfutter scheint daher nicht notwendig zu sein.

Der Einsatz regionaler Futterrohwaren in der Ernährung von wachsenden Masthühnern führte in dieser Studie zu gleichen Leistungsparametern im Vergleich zum Standardfutter.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass durch die Verwendung regionaler Futterrohwaren die Geflügelernährung nachhaltiger gestaltet werden kann. Durch den Verzicht auf SES besteht die Möglichkeit die durch den Sojaanbau entstehende Umweltbelastung zu reduzieren und regionale Wertschöpfungsketten zu unterstützen.

Literatur

Engel, A. M.; Klevenhusen, F.; Moenning, J.-L.; Numata, J.; Fischer-Tenhagen, C.; Sachse, B.; Schäfer, B.; Fry, H.; Kappenstein, O. and Pieper, R.: Investigations on the Transfer of Quinolizidine Alkaloids from *Lupinus angustifolius* into the Milk of Dairy Cows; *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2022, 70, 37, 11749–11758 Publication Date: September 6, 2022

Jeroch, H., Simon, A. und Zentek, J.: *Geflügelernährung*, Eugen-Ulmer-Verlag, 2. Auflage, 2019, S. 166-167

Krist, S.: Öl der Öllupine. *Lexikon der pflanzlichen Fette und Öle*, 2013, S. 557-562.

Olkowski, A. A., Amarowicz, R. und Classen, H. L.: Adverse Effects of Dietary Lupine in Broiler Chickens; *Poultry Science* 80:621–625; 2001

Riecher, M.-C., Kollenda, E. und Berger, M.: *Strategien zur Steigerung des Anbaus von Hülsenfrüchten*, WWF, 2023

Vogt-Kaute, W.: *Badische Bauernzeitung, Tierhaltung*, Ausgabe 20. August; 2020

Autorenanschrift: Georg Dusel, Technische Hochschule Bingen, g.dusel@th-bingen.de

2. Forum angewandte Forschung, Fulda (25.04.2023, Workshop Geflügel)

12 Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege (*Hermetia illucens*) und die weiße Lupine (*Lupinus albus*) als alternative Proteinquellen in der Broilermast

N. Stöhr, P. Harig, R. Ibrahim, G. Dusel

Technische Hochschule Bingen, Fachbereich 1, Tierernährung/Tiergesundheit, Berlinstraße 109, 55411 Bingen, g.dusel@th-bingen.de

Einleitung

In Verbindung mit dem Bevölkerungswachstum steigt auch die Nachfrage nach tierischem Protein kontinuierlich an, wobei Geflügelfleisch dominiert. Die steigende Produktion von tierischem Protein geht unweigerlich mit einem höheren Futtermittelbedarf einher. Dabei wächst die Sorge, ob die endlichen Ressourcen der Erde, wie landwirtschaftliche Fläche und Süßwasser, die Nachfrage nach Lebens- und Futtermitteln in Zukunft decken können (FAO und WHO 2019). Um den steigenden Bedarf an proteinreichen Futtermitteln zu decken und die Produktion von Geflügelfleisch nachhaltiger zu gestalten, treten vermehrt alternative Proteinquellen in den Vordergrund. Sowohl pflanzliche z.B. heimische Hülsenfrüchte, als auch tierische Proteine in Form von Insekten, stehen derzeit im Fokus einer nachhaltigen Tierproduktion. Die derzeit vielversprechendste Insektenart für die industrielle Produktion sind die Larven der Schwarzen Soldatenfliege (BSFL). Aufgrund ihrer idealen Nährstoffzusammensetzung und einem Aminosäureprofil, welches dem von Sojaextraktionsschrot (SES) ähnelt, stellt BSFL-Mehl eine vielversprechende Proteinalternative in der Broilermast dar. Vergangene Studien deuten darauf hin, dass der Einsatz von 10-15 % BSFL-Mehl im Futter von Masthühnern, ohne Leistungseinbuße möglich ist (Moula und Detilleuy 2019). Stöhr et al. (2022) beobachteten beispielsweise einen numerischen Anstieg der Körpergewichte am 35. Lebenstag, bei einem Anteil von 5 % BSFL-Mehl in der Broilerration. Darüber hinaus beobachteten die Autoren bis zu einem Anteil von 20 % eine gleichbleibende Futterraufnahme, was auf eine gute Schmackhaftigkeit des Larvenmehls hindeutet.

Auch regional erzeugte pflanzliche Futtermittel, wie die weiße Lupine sind angesichts ihres hohen Rohproteinanteils, für die Ernährung von wachsenden Masthühnern interessant (Jeroch et al. 2019). Aufgrund ihres hohen Gehalts an Alkaloiden (1-4%, nach Schuster 1992), welche sich durch Bitterkeit und toxische Eigenschaften auszeichnen, konnten die Lupinen bis zur Einführung der Gentechnik nicht in Futtermitteln verwendet werden. Mit dem Aufkommen von Sorten, die sich durch einen geringen Alkaloidgehalt (weniger als 0,05 % (Jansen et al. 2015) auszeichnen, den sog. „Süßlupinen“, Ende der 1920er Jahre, wurde die Lupine in die Fütterungspraxis aufgenommen (Jeroch et al. 2016). Nur Sorten, die weniger als 0,5 g Gesamtalkaloide/kg TM enthalten, können als Futtermittel verwendet werden. Dieser Wert wird deshalb als Schwellenwert für futtermitteltaugliche Lupinen angesehen (Múzquiz et al. 1994, Jeroch et al. 2016). Die Alkaloidgehalte von Süßlupinen schwanken erheblich, bleiben jedoch i.d.R. innerhalb des genannten Schwellenwerts (Jeroch et al. 2016). Vergangene Studien haben gezeigt, dass die gelbe und weiße Lupine als teilweiser Ersatz für SES im Broilermastfutter verwendet werden kann, ohne die Wachstumsleistung von Masthühnern zu beeinträchtigen (Hejdysz et al. 2019). Nach Jeroch et al. (2019) wird unter Berücksichtigung der Futterwertigenschaften ein maximaler Mischungsanteil von 15 % Lupinen in der Ration von Broilern empfohlen (Jeroch et al. 2019).

Material und Methoden

Mit dem Ziel, die Geflügelfütterung durch regional erzeugte Futtermittel nachhaltiger zu gestalten, wurden zwei Fütterungsstudien an Masthühnern durchgeführt. In Studie 1 wurde der teilweise Austausch von SES durch entfettetes BSFL-Mehl erforscht. Studie 2 beschäftigte sich mit dem Austausch der konventionell eingesetzten Futtermittel, wie SES und Mais, durch regional angebaute Futtermittel wie Hirse, Erbsen, Raps, Sonnenblumen und Lupinen. Außerdem wurden den Rationskomponenten ebenfalls BSFL-Mehl addiert. Die Auswirkungen auf die Wachstumsparameter und Futtereffizienz wurden tierexperimentell untersucht.

Studie 1: Der Versuch fand im Zeitraum von 35 Tagen an der Forschungseinheit für Geflügel, der Technischen Hochschule in Bingen statt. Insgesamt 90 einen-Tag-alte Broilervogelkücken (Ross 308) wurden gleichmäßig auf drei Futtermittelformen aufgeteilt (6 Buchten/Variante): BSFL0 = kein Larvenmehl/Kontrolle, BSFL7,5 = 7,5 % Larvenmehl und BSFL15 = 15 % Larvenmehl in der Gesamtration (Tabelle 1). Die Futtermittelformen wurden isokalorisch und isonitrogen ausgeglichen. Die Tiere wurden in zwei Phasen gefüttert (Starter: Tag 1-21, 5 Tiere/Bucht; Finisher: Tag 21-35, 3 Tiere/Bucht; *ad libitum*) und in Bodenhaltung aufgezogen. Die Lebendmasse

(LM) der Tiere und die Futtermittelaufnahme wurden wöchentlich erfasst, um die täglichen Zunahmen, die tägliche Futtermittelaufnahme und die Futtermitterverwertung zu berechnen.

Tabelle 1: Futtermittelzusammensetzung der Versuchsvarianten (Studie 1)

Futtermittel (%)	Starter (Tag 1-21)			Finisher (Tag 21-35)		
	A	B	C	A	B	C
	BSFL0	BSFL7,5	BSFL15	BSFL0	BSFL7,5	BSFL15
Mais	34,93	40,10	45,26	35,58	40,52	45,46
Weizen	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Sojaextraktionsschrot	37,00	26,15	15,30	35,00	24,25	13,50
Larvenmehl, BSFL	0,00	7,50	15,00	0,00	7,50	15,00
Rapsöl	4,00	2,35	0,70	5,50	4,00	2,50
Premix ¹	4,07	3,90	3,74	3,92	3,73	3,54

Aminosäuren, Vitamine, Mineralstoffe...

Studie 2: Insgesamt 80 männliche und vitale Eintagsküken (Ross 308) wurden für den Versuch an der Forschungseinheit für Geflügel, der Technischen-Hochschule Bingen, aufgezogen. Zu Versuchsbeginn wurden die Broiler gleichmäßig einer von vier Futtermittelnvarianten zugeteilt (10 Buchten/Variante, 2 Tiere/Bucht bis Tag 21; 1 Tier/Bucht Tag 21-35): Die Kontrollgruppe (A) bestand aus einem Standard-Broilermastfutter, basierend auf Mais, SES und Weizen. Bei Variante B (Alternativ) wurden die Futterkomponenten durch alternative Futtermittel (Hirse, Erbsen, Rapsextraktionsschrot, Sonnenblumenextraktionsschrot und Larvenmehl) ersetzt. Variante C und D bestand aus den gleichen Komponenten wie Variante B, zuzüglich der weißen Lupinen. Dabei wurde jeweils eine Sorte mit hohem- (Celina) und eine Sorte mit geringem (Amiga) Alkaloidgehalt gewählt. Die Futtermittelnvarianten sind in Tabelle 2 dargestellt. Die Futtermittel wurden isokalorisch und isonitrogen ausgeglichen und 28 Tage lang (1 Phase) *ad libitum* gefüttert. Die Lebendmasse (LM) der Tiere und die Futtermittelaufnahme wurden wöchentlich erfasst, um die täglichen Zunahmen, die tägliche Futtermittelaufnahme und die Futtermitterverwertung zu berechnen.

Tabelle 2: Futtermittelzusammensetzung der Versuchsvarianten (Studie 2):

Futtermittel (%)	A	B	C	D
	Kontrolle	Alternativ	Alternativ + Lupine Amiga	Alternativ + Lupine Celina
Mais	37,75			
Sojaextraktionsschrot	35,00			
Weizen	20,00	20,00	20,00	20,00
Hirse		21,85	23,35	23,35
Erbse		25,00	20,00	20,00
Rapsextraktionsschrot		10,00	5,00	5,00
Sonnenblumenextraktionsschrot		10,00	5,00	5,00
Larvenmehl, BSFL		5,00	5,00	5,00
Lupine, Celina			15,00	
Lupine, Amiga				15,00
Rapsöl	3,20	4,70	3,10	3,10

Premix ¹	7,25	8,15	6,65	6,65
Gesamtalkaloide g/kg TS			0,056	0,018

Aminosäuren, Vitamine, Mineralstoffe...

Ergebnisse

Studie 1: Die Ergebnisse der Leistungsparameter sind in Tabelle 3 dargestellt. Die Tiere, die mit 7,5 % Larvenmehl gefüttert wurden, erzielten die höchste Lebendmasse an Tag 35, unterschieden sich jedoch nicht signifikant von der Kontrollgruppe. Zudem wurde bei Variante BSFL7,5 die höchste durchschnittliche Futteraufnahme beobachtet. Die Tiere der Variante BSFL15 benötigten in dieser Studie 1,35 kg Futter um 1 kg Körpermasse aufzubauen (P=0,011 vs. BSFL0). Bei einem Anteil von 15 % BSFL-Mehl in der Futtermischung nahmen die Tiere, im Vergleich zu den anderen beiden Versuchsvarianten, signifikant weniger Körpermasse zu. Die Lebendmasse der Tiere, die mit 15 % BSFL-Mehl gefüttert wurden, waren zum Versuchsende durchschnittlich 28 % geringer, im Vergleich zu BSFL0. Außerdem nahmen die Tiere durchschnittlich 20 % weniger Futter zu sich als die Tiere, denen kein Larvenmehl gefüttert wurde. Die Spiegelung zeigt sich in einer signifikant schlechteren Futterverwertung wider.

Tabelle 3: Ergebnisse der Leistungsparameter (Mittelwerte/Variante): Larven der Schwarzen Soldatenfliege (BSFL) als alternative Proteinquelle in der Broilermast. 35 Versuchstage, 2 Phasen: Starter (d1-21), Finisher (d21-35), n=6 Wiederholungen/Variante à 5 Tiere (d1-21) / 3 Tiere (d21-35), Wiegen der Tiere und Futter an Tag 1,7,14,21,28,35

	BSFL0	BSFL7,5	BSFL15	SEM	P-Wert ¹
	Kontrolle	7,5% BSFL-Mehl ²	15% BSFL-Mehl ²		
Lebendmasse (LM), g an Versuchstag (d)					
LM d1	52	52	52	0,24	1,000
LM d14	541 ^a	545 ^a	402 ^b	8,91	<0,001
LM d21	1093 ^a	1128 ^a	762 ^b	21,14	<0,001
LM d35	2796 ^a	2812 ^a	2026 ^b	58,72	<0,001
Tägl. Zunahme, g/d	78 ^a	79 ^a	56 ^b	1,68	<0,001
Tägl. Futteraufnahme, g/d	108 ^a	112 ^a	88 ^b	1,23	<0,001
Futterverwertung, g/g	1,31 ^a	1,35 ^b	1,52 ^c	0,01	<0,001

P-Wert nach ANOVA (GLM) ^{a, b, c}. Mittelwerte mit unterschiedlichen Hochbuchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant: $\alpha < 0,05$ (post-hoc Tukey HSD)

Anteil an der Gesamtration

Studie 2: Die Ergebnisse der Leistungsparameter sind in Tabelle 4 dargestellt. Über den gesamten Versuchszeitraum wurden keine signifikanten-, aber tendenzielle Unterschiede innerhalb der Versuchsvarianten festgestellt. An Versuchstag 14 und 21 wurde ein tendenzieller Unterschied (P<0,1) in der Lebendmasse der Tiere beobachtet. Die Tiere der Kontrollgruppe erreichten nach 21 Tagen eine durchschnittlich 6 % höhere Lebensmasse als die Tiere der Variante B, mit der geringsten LM (P=0,053). Nach 28 Versuchstagen erreichten die Tiere aller Versuchsvarianten durchschnittlich über 2,0 kg LM (P=0,649). Die Tiere der Kontrollgruppe erzielten dabei die höchsten Endgewichte. Die Unterschiede sind jedoch nicht signifikant. Die Tiere in Variante C (Alternative Futtermittel + Lupine Celina) zeigten die durchschnittlich höchste tägliche Futteraufnahme, während die anderen Versuchsvarianten sich nur mäßig voneinander unterschieden. Was die Futterverwertung betrifft, so wurde die geringste FCR bei der Kontrollgruppe sowie Variante D (Alternativ + Lupine Amiga) beobachtet, während Variante B (Alternativ) die höchste Futterverwertung aufwies (P=0,056).

Tabelle 4: Ergebnisse der Leistungsparameter (Mittelwerte/Variante): Alternative Proteinquellen in der Broilermast. 28 Versuchstage, n=10 Wiederholungen/Variante, Wiegen der Tiere und Futter an Tag 1, 7, 14, 21, 28

	A	B	C	D	SEM	P-Wert ¹
	Kontrolle	Alternativ	Alternativ + Lupine Celina	Alternativ + Lupine Amiga		
Lebendmasse (LM), g an Versuchstag (d)						
LM d1	54	54	54	54	0,4	1,000
LM d14	668 ^a	622 ^b	652 ^{ab}	644 ^{ab}	6,0	0,052
LM d21	1314 ^a	1239 ^b	1285 ^{ab}	1284 ^{ab}	10,3	0,081
LM d28	2090	2027	2056	2046	17,5	0,649
Tägl. Zunahme, g/d	73	71	72	71	0,6	0,473
Tägl. Futtermittelaufnahme, g/d	93	92	96	92	0,9	0,397
Futterverwertung, g/g	1,25	1,33	1,30	1,26	0,01	0,056

A: basierend auf Mais und Sojaextraktionsschrot; B: basierend auf Hirse, Erbsen, Sonnenblumenextraktionsschrot, Rapsextraktionsschrot und Larvenmehl; C: basierend auf B + Lupine (Celina, hoher Alkaloidgehalt); D: basierend auf B + Lupine (Amiga, geringer Alkaloidgehalt)

P-Wert nach ANOVA (GLM) ^{a, b, c}. Mittelwerte mit unterschiedlichen Hochbuchstaben in einer Spalte unterscheiden sich signifikant: $\alpha < 0,05$ (post-hoc Tukey HSD)

Tag 1-28

Diskussion

Studie 1: Die Ergebnisse der Studie 1 zeigen einen numerischen Anstieg der Wachstumsleistung der Tiere, die mit 7,5 % BSFL-Mehl gefüttert wurden, im Vergleich zur Kontrollgruppe. Bei höheren Anteilen an BSFL-Mehl in der Ration von Broilern wurden signifikant schlechtere Leistungsparameter erzielt. Es ist davon auszugehen, dass das beobachtete Leistungsdefizit der Tiere, die in der vorliegenden Studie mit hohen Anteilen an BSFL gefüttert wurden, in erster Linie auf die geringe Futtermittelaufnahme zurückzuführen ist. Die Ergebnisse werden von einigen Studien unterstützt, welche ebenfalls eine verminderte Wachstumsleistung und Futtereffizienz, bei hohen Anteilen an BSFL-Mehl in der Ration von Masthühnern, beobachteten (Facey et al. 2023).

Studie 2: Allgemein wurden nur mäßige Unterschiede innerhalb der Futtervarianten beobachtet. Auch wenn die Fütterung mit alternativen Futtermitteln zu keiner Leistungssteigerung im Vergleich zur Standard-Fütterung führte, so erzielten die Tiere der Versuchsvarianten vergleichbare Leistungsparameter. Dies deutet darauf hin, dass ein Standard-Broilermastfutter mit regionalen Futtermittelalternativen ersetzt oder ergänzt werden kann, ohne die Leistung der Tiere negativ zu beeinträchtigen. Der Einsatz von 15 % Lupine hat sich auch in dieser Studie als möglich erwiesen und erzielte sogar numerisch höhere Endgewichte als die Tiere, die alternative Futtermittel ohne Lupine erhielten. Unter Berücksichtigung der Schwellenwerte, scheint anhand der vorliegenden Ergebnisse der Einsatz von Lupinen, unabhängig von der Sorte und den darin enthaltenen Alkaloiden umsetzbar zu sein.

Fazit

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie lassen den Schluss zu, dass die Ernährung von wachsenden Masthühnern mit regional erzeugten pflanzlichen und tierischen Futtermittelkomponenten möglich ist, ohne die Wachstumsleistung und Futtereffizienz der Tiere negativ zu beeinträchtigen.

Durch den Einsatz von z.B. 5-7,5 % BSFL-Mehl, kann unter anderem bis zu einem Viertel des üblicherweise eingesetzten SES, als Proteinquelle für Broiler, eingespart werden. Dadurch können Sojaimporte reduziert – und die Geflügelproduktion nachhaltiger gestaltet werden.

Literatur

Facey, H., Kithama, M., Mohammadigheisar, M., Huber, L.A., Shoveller, A.K. und Kiarie, E.G. (2023): Complete replacement of soybean meal with black soldier fly larvae meal in feeding program for broiler chickens from

placement through to 49 days of age reduced growth performance and altered organs morphology, Poultry Science 102:102293 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102293>

FAO und WHO (2019): Hazards associated with animal feed. Report of the Joint FAO/ WHO Expert Meeting 12 – 15 May 2015, FAO headquarters, Rome, Italy. FAO Animal Production and Health Report, No. 13, pp. 286

Hejdysz, M., Kaczmarek, S.A., Rogiewicz, A. und Rutkowski, A. (2019): Influence of graded levels of meals from three lupin species on growth performance and nutrient digestibility in broiler chickens, British Poultry Science, DOI: 10.1080/00071668.2019.1593947

Jeroch, H., Kozłowski, K., Schöne, F. und Zdunczyk, Z. (2016): Lupines (*Lupinus spp.*) as a protein feedstuff for poultry. 1) Varieties, composition, and nutritional values for poultry. Europ.Poult.Sci., 80. 2016, ISSN 1612-9199, © Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. DOI: 10.1399/eps.2016.125

Jeroch, H., Simon, A. und Zentek, J. (2019): Geflügelernährung, Eugen-Ulmer-Verlag, 2. Auflage, 2019, S. 166-167

Jansen, G., Jürgens, H.U., Schliephake, E., Seddig, S. und Ordon, F. (2015): Effects of growing system and season on the alkaloid content and yield of different sweet *L. angustifolius* genotypes. J. Appl. Bot. Food Qual., 88, 1-4, DOI:10.5073/JABFQ.2015.088.001.

Múzquiz, M., Cuadrado, C., Ayet G., De La Cuadra, C., Burbano, C. und Osagiel, A (1994): Variation of alkaloid components of lupin seeds in 49 genotypes of *Lupinus albus* L. from different countries and locations. J. Agric. Food Chem. 42, 1447-1450.

Schuster, W.H. (1992): Ölpflanzen in Europa. DLG-Verlag, Frankfurt/Main.

Stöhr, N., Harig, P., Ibrahim, R., Schuh-von-Graevenitz, K. und Dusel, G. (2022): Larvenmehl der Schwarzen Soldatenfliege als teilweiser und vollständiger Ersatz für Sojaextraktionsschrot in der Broilerfütterung. VDLUFA-Schriftenreihe, Band 78/2022, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, S. 520-527. ISBN: 978-3-941273-34-4

8 Literaturverzeichnis

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (2007): Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA Methodenbuch), Bd. III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. Darmstadt (Germany): VDLUFA-Verlag.

Reham Fakash (2021): Comparison of lupin millet as an alternative to soybean and corn in broiler feeds II. Projektarbeit Nachhaltige Tierproduktion, Studiengang Agrarwirtschaft.

Carola Lausberg (2022): Alternative Eiweißfuttermittel in der Broilerfütterung. Bachelorarbeit, Studiengang Agrarwirtschaft.

Camilya Berriri (2023): Legehennenfütterung: Larvenmehl der schwarzen Soldatenfliege und Weiße Lupine als Ersatz für Sojaextraktionsschrot – Auswirkungen auf die Legeleistung. Projektarbeit, Studiengang Master Landwirtschaft und Umwelt.