

90

Berichte aus dem TFZ

# **Mischanbau zur Produktion von Pflanzenölen und -proteinen als Nachwachsende Rohstoffe**





## **Mischanbau zur Produktion von Pflanzenölen und -proteinen als Nachwachsende Rohstoffe**







# **Mischanbau zur Produktion von Pflanzenölen und -proteinen als Nachwachsende Rohstoffe**

Susanne Scholcz  
Theresa Diehl  
Sebastian Parzefall  
Dr. Daniela Dressler  
Dr. Maendy Fritz

**Titel:** Misanbau zur Produktion von Pflanzenölen und -proteinen als  
Nachwachsende Rohstoffe

**Autoren:** Susanne Scholcz  
Theresa Diehl  
Sebastian Parzefall  
Dr. Daniela Dressler  
Dr. Maendy Fritz

**Projektleitung:** Dr. Maendy Fritz

**Mitarbeiter:**

Dr. Norman Siebrecht  
Franz Heimler  
Christian Loher, Stefan Mandl, Markus Krinner, Josef Wittmann, Stefan Wiesent, Christine Weber

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus unter dem Förderkennzeichen G2/N/22/07 gefördert. Das Projekt wurde im Zeitraum 01.01.2023 bis 31.12.2025 bearbeitet. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

© 2026  
Technologie- und Förderzentrum  
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing

Alle Rechte vorbehalten.

Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Herausgebers in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt, verbreitet oder archiviert werden.

Unter Verwendung mineralölfreier Druckfarben (Mineralölanteil <1 %) gedruckt auf chlorfreiem Papier aus nachhaltiger, zertifizierter Waldbewirtschaftung.

**ISSN:** 1614-1008  
**DOI:** 10.5281/zenodo.19368142  
**Hrsg.:** Technologie- und Förderzentrum  
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ)  
Schulgasse 18, 94315 Straubing  
**E-Mail:** [poststelle@tfz.bayern.de](mailto:poststelle@tfz.bayern.de)  
**Internet:** [www.tfz.bayern.de](http://www.tfz.bayern.de)

**Redaktion:** Susanne Scholcz, Sebastian Parzefall, Theresa Diehl, Anna Grundner  
**Gestaltung:** Susanne Scholcz, Sebastian Parzefall, Theresa Diehl  
**Verlag:** Eigenverlag  
**Erscheinungsort:** Straubing  
**Erscheinungsjahr:** 2026

**Fotos:** TFZ

## Abstract (deutsch)

Politische Forderungen wie der Green Deal, das nationale Klimaschutzgesetz und die bayerische Biodiversitätsstrategie zielen auf eine Reduktion des Einsatzes von Stickstoffmineraldüngern und chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln im Pflanzenbau ab. Zugleich gewinnt die Anpassung der Landwirtschaft an zunehmende Witterungsextreme im Zuge des Klimawandels an Bedeutung. Vor diesem Hintergrund ist die Entwicklung nachhaltiger Anbaukonzepte, die Umweltwirkungen minimieren und gleichzeitig Ertragsstabilität gewährleisten, von wesentlicher Bedeutung.

Das Projekt „MixNawaRo“ verfolgte das Ziel, den Mischanbau von Leguminosen (Erbse, Ackerbohne, Sojabohne) mit Ölfrüchten (Leindotter, Saflor, Körnerhanf) als Strategie zur Reduktion von Stickstoffdüngern und Pflanzenschutzmitteln zu untersuchen. Dabei wurde geprüft, ob Mischanbau das Anbaurisiko von Leguminosen im Vergleich zur Reinsaat senkt. Über drei Jahre wurden Parzellenversuche mit vierfacher Wiederholung durchgeführt. Verschiedene Gemengekombinationen aus Leguminose und Ölfrüchten wurden hinsichtlich Saatstärke, Reihenanordnung, Saattiefe und Leguminosensorte untersucht. Die Bewertung erfolgte anhand von Entwicklung, Konkurrenzverhalten, Pflanzengesundheit, Korntrag, relativem Flächenertrag (RYT), Kornqualität und Anforderungen bei Saat und Ernte. Zudem erfolgte eine ökologische Bewertung. Die Witterung beeinflusste maßgeblich Entwicklung und Ertragsanteile beider Gemengepartner. Der Mischanbau mit Erbse/Leindotter war, unabhängig von der Reihenanordnung und Erbsensorte, erfolgreich und hatte eine höhere Flächeneffizienz als die Reinsaaten. Das Gemenge Ackerbohne/Saflor und Ackerbohne/Leindotter erreichte meist einen RYT etwas über eins, stellt allerdings höhere Anforderungen an die Druscheinstellungen. Körnerhanf erwies sich als Gemengepartner aufgrund hohen Stickstoffbedarfs und heterogener Abreife als ungeeignet. Mischanbau mit Sojabohne war wegen hoher interspezifischer Konkurrenz und daraus folgend geringer Erträge sowie angesichts Herausforderungen bei der gemeinsamen Ernte nicht erfolgreich.

Die ökologische Bewertung zeigt, dass der Gemengeanbau im Vergleich zur Reinsaat meist geringere Treibhausgasemissionen und eine deutlich reduzierte marine Eutrophierung aufweist, vor allem durch den geringeren Einsatz von Stickstoffdüngemitteln und den höheren N-Output durch Mischkulturen. Dadurch kann der Gemengeanbau zur Verringerung von Nährstoffeinträgen in Gewässer beitragen, wobei das Ertragsniveau eine wichtige Rolle für die Umweltwirkung spielt.

Abschließend zeigt das Projekt, dass Mischanbau das Anbaurisiko von Leguminosen reduzieren kann, jedoch eine standortspezifische, sorgfältige Partnerwahl, erfolgreiche mechanische Beikrautregulierung, anspruchsvollere Ernteplanung sowie flexible Vermarktungskonzepte erfordert.

## Abstract (englisch)

Political demands such as the Green Deal, the National Climate Action Plan, and the Bavarian Biodiversity Strategy aim to reduce the use of nitrogen mineral fertilizers and pesticides in crop production. At the same time, adapting agriculture to climate change is becoming increasingly important. Against this background, developing sustainable cultivation concepts that minimize environmental impacts while ensuring yield stability is of great importance.

The “MixNawaRo” project aimed to investigate intercropping legumes (pea, faba bean, soybean) with oil crops (camelina, safflower, hemp) as a strategy to reduce mineral nitrogen fertilizer and pesticide use. It was examined whether mixed cropping lowers the cultivation risk of legumes compared to pure stands. Over three years, field trials with four replicates were conducted. Various mixtures of legumes and oil crops were tested regarding seeding rate, row spacing, sowing depth, and legume variety. Evaluation criteria included plant development, competitive behaviour, plant health, grain yield, relative land use efficiency (RYT), grain quality, and requirements for sowing and harvest. An ecological assessment was also performed. Weather conditions profoundly influenced development and yield shares of both mixture partners. Mixed cropping with pea and camelina was successful regardless of row arrangement, sowing depth, and pea varieties, showing higher land use efficiency than pure stands. The faba bean/safflower and faba bean/camelina mixture generally achieved an RYT slightly above one but required more demanding threshing settings. Hemp proved unsuitable as a intercropping partner due to its high nitrogen demand and heterogeneous maturity at the point of harvest. Mixed cropping with soybean was unsuccessful due to strong interspecific competition, resulting in lower yields, and challenges during joint harvest.

The ecological assessment shows that mixed cropping generally results in lower greenhouse gas emissions and significantly reduced marine eutrophication compared to pure stand cultivation, mainly due to the lower use of nitrogen fertilizers and the higher nitrogen output from mixed cultures. As a result, mixed cropping can contribute to reducing nutrient inputs into water bodies, with the yield level playing an important role in the environmental impact.

In conclusion, the project demonstrates that mixed cropping can reduce the cultivation risks of legumes but requires site-specific, careful partner selection, more complex harvest planning, and flexible marketing concepts.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abstract (deutsch) .....</b>	<b>5</b>
<b>Abstract (englisch) .....</b>	<b>6</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>11</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>17</b>
<b>1      Einleitung .....</b>	<b>23</b>
<b>2      Stand des Wissens.....</b>	<b>25</b>
<b>2.1      Vorstellung der Körnerleguminosen .....</b>	<b>25</b>
2.1.1      Bedeutung von Leguminosen in der Landwirtschaft .....	25
2.1.2      Anbau von Erbse, Ackerbohne und Sojabohne .....	27
<b>2.2      Vorstellung der Ölfrüchte.....</b>	<b>29</b>
2.2.1      Leindotter.....	29
2.2.2      Saflor .....	30
2.2.3      Körnerhanf.....	31
<b>2.3      Verwendung von Pflanzenprotein als Nachwachsender Rohstoff .....</b>	<b>31</b>
<b>2.4      Verwendung von Pflanzenöl als Nachwachsender Rohstoff .....</b>	<b>32</b>
<b>2.5      Misanbausysteme: Beispiele und Forschungsergebnisse .....</b>	<b>33</b>
<b>3      Problemstellung und Zielsetzung.....</b>	<b>39</b>
<b>4      Material und Methoden .....</b>	<b>43</b>
<b>4.1      Standortbedingungen.....</b>	<b>43</b>
<b>4.2      Wahl der Gemegepartner .....</b>	<b>46</b>
<b>4.3      Versuchsdesign und Bestandsführung .....</b>	<b>47</b>
4.3.1      Versuche mit Erbse .....	51
4.3.1.1      Sortenversuch .....	51
4.3.1.2      Saatstärkenversuch.....	52
4.3.1.3      Reihenversuch .....	52
4.3.2      Versuche mit Ackerbohne.....	53
4.3.2.1      Sortenversuch .....	53
4.3.2.2      Saatstärkenversuch.....	54
4.3.2.3      Reihenversuch .....	54
4.3.3      Versuche mit Sojabohne.....	55
4.3.3.1      Sortenversuch .....	55
4.3.3.2      Saatstärkenversuch.....	56
4.3.3.3      Reihenversuch .....	57
4.3.4      Versuche aller Kulturen in Reinsaat .....	57
4.3.5      Zusätzliche Versuche.....	58
4.3.5.1      Versuch zum Gemege mit drei Kulturen.....	58
4.3.5.2      Versuch zur gänzlich gemischten Saat mit gemeinsamer Ablagetiefe.....	59

4.3.5.3	Versuch zum Saattermin .....	60
4.3.5.4	Versuche zum Mischanbau von Winterleguminosen und Ölfrüchten .....	60
<b>4.4</b>	<b>Datenerhebung und Bonituren .....</b>	<b>62</b>
4.4.1	Feldaufgang .....	62
4.4.2	Entwicklungsverlauf .....	62
4.4.3	Wuchshöhe .....	63
4.4.4	Beurteilung der Pflanzengesundheit .....	63
4.4.5	Trockensubstanzgehalt .....	64
4.4.6	Trockenmasseertrag .....	65
4.4.7	Parameter zur Bewertung von Gemengen .....	65
<b>4.5</b>	<b>Bodenanalysen .....</b>	<b>66</b>
<b>4.6</b>	<b>Kornanalysen .....</b>	<b>67</b>
<b>4.7</b>	<b>Stickstoffbilanz .....</b>	<b>67</b>
<b>4.8</b>	<b>Ökologische Bewertung .....</b>	<b>68</b>
4.8.1	Zieldefinition .....	68
4.8.2	Untersuchungsrahmen .....	68
4.8.3	Sachbilanz .....	72
4.8.4	Wirkungsabschätzung .....	75
4.8.5	Auswertung .....	76
<b>4.9</b>	<b>Statistische Auswertung .....</b>	<b>78</b>
<b>5</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion .....</b>	<b>81</b>
<b>5.1</b>	<b>Witterungseinflüsse .....</b>	<b>81</b>
<b>5.2</b>	<b>Beikraut .....</b>	<b>86</b>
<b>5.3</b>	<b>Versuche mit Erbse .....</b>	<b>92</b>
5.3.1	Entwicklung .....	92
5.3.2	Wuchshöhe .....	98
5.3.3	Pflanzengesundheit .....	100
5.3.4	Kornerträge .....	104
5.3.5	Relativer Flächenertrag .....	113
5.3.6	Kornqualität .....	114
<b>5.4</b>	<b>Versuche mit Ackerbohne .....</b>	<b>115</b>
5.4.1	Entwicklung .....	115
5.4.2	Wuchshöhe .....	118
5.4.3	Pflanzengesundheit .....	122
5.4.4	Kornerträge .....	129
5.4.5	Relativer Flächenertrag .....	134
5.4.6	Kornqualität .....	136
<b>5.5</b>	<b>Versuche mit Sojabohne .....</b>	<b>137</b>
5.5.1	Entwicklung .....	137
5.5.2	Wuchshöhe .....	143
5.5.3	Pflanzengesundheit .....	145
5.5.4	Kornerträge .....	146
5.5.5	Relativer Flächenertrag .....	150
5.5.6	Kornqualität .....	150
<b>5.6</b>	<b>Gehalt an freien Fettsäuren in Körnern der Ölfrüchte .....</b>	<b>152</b>

<b>5.7</b>	<b>Versuche zum Mischanbau von Winterleguminosen und Ölfrüchten.....</b>	<b>153</b>
<b>5.8</b>	<b>Stickstoffbilanz.....</b>	<b>159</b>
<b>5.9</b>	<b>Ökologische Bewertung.....</b>	<b>161</b>
<b>5.10</b>	<b>Austausch der Erfahrungen zum Mischanbau.....</b>	<b>173</b>
<b>6</b>	<b>Empfehlungen für die Praxis.....</b>	<b>175</b>
	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>179</b>
	<b>Quellenverzeichnis .....</b>	<b>183</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>197</b>





## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Mischanbau in verschiedenen Varianten der zeitlichen und räumlichen Trennung, geändert nach BROOKER et al. (2015) [29].....	34
Abbildung 2:	Witterungsdaten der Jahre 2023 bis 2025 [18] und langjähriges Mittel [50] .....	45
Abbildung 3:	Gänzlich gemischte Saat von Erbse/Leindotter (oben) und alternierende Saat von Ackerbohne/Saflor (unten) .....	50
Abbildung 4:	Saat der Ölfrüchte im Frühjahr 2025 an die bereits bestehenden Ackerbohnen-Reihen .....	61
Abbildung 5:	Pheromonfalle am Grasweg um einen Erbsenbestand .....	63
Abbildung 6:	Aufstellen der Gelbschalen im Randbereich der Winterrapsbestände ....	64
Abbildung 7:	Darstellung des Nutzenkorbs „Ertrag“ beispielhaft für den Anbau der Ackerbohne mit Saflor .....	70
Abbildung 8:	Darstellung des Nutzenkorbs „Qualität“ beispielhaft für den Anbau der Ackerbohne mit Saflor .....	71
Abbildung 9:	Ausbleibender Feldaufgang der Leguminosen-Reinsaaten Erbse (EF) und Ackerbohne (BA) im Vergleich zu den Ölfrüchten Saflor (SFL) und Leindotter (LND) durch fehlende Niederschläge nach verspäteter Saat am 20./21.05.2023, Aufnahme vom 31.07.2023 .....	83
Abbildung 10:	Staunässe im Gemenge Ackerbohne/Saflor am 03.06.2024 durch langanhaltende Niederschläge mit Überschwemmungen des Versuchs Ende Mai .....	85
Abbildung 11:	Auswirkungen der Staunässe auf das Ackerbohnen/Saflor-Gemenge am 11.06.2024 .....	85
Abbildung 12:	Saflor-Auswuchs bei später Ernte im Gemenge mit Sojabohne 2024 ....	86
Abbildung 13:	Flächige Verunkrautung mit Weißem Gänsefuß im Jahr 2023.....	88
Abbildung 14:	Lücken im Pflanzenbestand aufgrund von Fahrspuren auf der Fläche „Die Frei“ Anfang Juni 2024 .....	89
Abbildung 15:	Weißer Gänsefuß innerhalb der Saatreihen nach dem Hacken 2025.....	90
Abbildung 16:	Weißer Gänsefuß im Gemenge Erbse/Leindotter mit engem Reihenabstand (16 cm) ohne mechanische Beikrautregulierung am 21.05. (links) und nicht gemulchte Parzelle am 23.07. (rechts).....	91
Abbildung 17:	Lücken im Bestand aufgrund Beschädigung der Kulturpflanzen durch Einsatz der Hacke in Parzellen mit engem Reihenabstand (16 cm) .....	91
Abbildung 18:	Ausbleibender Feldaufgang der Erbsen (Reihen 2, 4, 6 und 8) im Gemenge mit Saflor bei später Saat (Reihenversuch) im Jahr 2023 .....	93
Abbildung 19:	Aufgeplatzte Erbsenhülsen und Ausfall aufgrund verzögerter Ernte 2023 .....	93

Abbildung 20: Gemenge Erbse/Körnerhanf (links) und Ackerbohne/Körnerhanf (rechts) .....	96
Abbildung 21: Hanfblätter werden durch die Erbsenranken gefaltet .....	96
Abbildung 22: Saattermine, Blühzeiträume und Erntetermine von Erbse, Ackerbohne, und Sojabohne sowie Leindotter und Saflor bei normaler Saat (Gemenge mit Erbse oder Ackerbohne) und später Saat (Gemenge mit Sojabohne) .....	97
Abbildung 23: Zeitlich versetzte Abreife von Erbse und Saflor Mitte Juli 2024 .....	98
Abbildung 24: Larve des Erbsenwicklers in Erbsenhülse Anfang Juli 2023 (links) und Mitte Juli 2025.....	101
Abbildung 25: Mittels Pheromonfalle während der Hauptflugphase gefangene Erbsenwickler 2025 .....	102
Abbildung 26: Fraßschäden durch die Erbsenwicklerlarven.....	102
Abbildung 27: Befall mit Erbsenkäfern in den getrockneten und gereinigten Erbsen im Jahr 2024 .....	103
Abbildung 28: Falscher Mehltau an Leindotter im Gemenge mit Erbse .....	103
Abbildung 29: Spät gesätes Gemenge Erbse/Leindotter im Saattermin-Versuch .....	104
Abbildung 30: Getrenntes Erntegut der Gemenge Erbse/Leindotter (links) und Erbse/Saflor (rechts).....	105
Abbildung 31: Aus dem Gemenge Erbse/Saflor herausgereinigter Saflor enthielt nach dem ersten Reinigungsdurchlauf noch hohen Anteil an Erbsen-Bruchkorn.....	105
Abbildung 32: Erntegut im Gemenge Erbse/Leindotter nach der Trocknung und vor der Reinigung und Trennung der Gemengepartner .....	106
Abbildung 33: Kornertrag der Reinsaaten sowie des gesamten Gemenges und Ertragsanteile von Erbse und Leindotter im Sortenversuch in den Jahren 2024 und 2025, n = 4 .....	107
Abbildung 34: Kornertrag der Reinsaaten des gesamten Gemenges und Ertragsanteile von Erbse und Leindotter im Saatstärkenversuch im Jahr 2024, n = 4 .....	109
Abbildung 35: Kornertrag der Reinsaaten sowie des gesamten Gemenges und Ertragsanteile von Erbse und Leindotter im Saatstärkenversuch im Jahr 2025, n = 4 .....	109
Abbildung 36: Kornertrag der Reinsaaten sowie des gesamten Gemenges und Ertragsanteile von Erbse und der jeweiligen Ölfrucht für zwei Reihenabstände im Reihenversuch, n = 4 .....	111
Abbildung 37: Kornertrag des gesamten Gemenges und Ertragsanteile von Erbse und Leindotter bei Aussaat in ein oder zwei Überfahrten, n = 4 .....	112
Abbildung 38: Verminderter Feldaufgang der Ackerbohnen-Reinsaat, Aufnahme Ende Juli 2024 .....	117

Abbildung 39:	Nektarien an Ackerbohnenpflanzen bieten bereits ab Mai Nahrung für Nützlinge.....	117
Abbildung 40:	Ausladende Wuchsform von Saflor führt zu Beschattung der Ackerbohnen .....	118
Abbildung 41:	Fraßschäden durch den Blattrandkäfer an Ackerbohnen Anfang Mai ..	123
Abbildung 42:	Welken der Ackerbohnen führte zu Absterben Ende Juni 2023.....	124
Abbildung 43:	Blattlausbefall einer Ackerbohnenpflanze Anfang Juni 2024.....	124
Abbildung 44:	Sortenversuch des Gemenges Ackerbohne/Saflor Mitte Juli 2024, Parzellen der Sorte Jasmin setzen sich aufgrund besser Pflanzengesundheit ab.....	125
Abbildung 45:	Ackerbohnen sorte Jasmin (rechts) zeigte bessere Resistenz gegenüber Botrytis und Rost im Vergleich zur Sorte Birgit (links).....	125
Abbildung 46:	Schwarzfärbung an Hülsen und Körnern der Ackerbohne im Jahr 2023.....	126
Abbildung 47:	Schwarzbeinigkeit mit Absterben der Ackerbohnenwurzeln im Sortenversuch 2025 aufgrund Fußkrankungen .....	126
Abbildung 48:	Nesterweises Absterben von Saflorpflanzen im Jahr 2023 .....	127
Abbildung 49:	Rost-Symptome an der Blattunterseite von Saflor im August 2025 .....	128
Abbildung 50:	Fortgeschrittener Befall mit Insektenlarven in Saflor-Körbchen im August 2025 .....	128
Abbildung 51:	Aus dem Gemenge Ackerbohne/Saflor herausgereinigter Saflor enthielt 2024 nach dem ersten Reinigungsdurchlauf noch einen hohen Anteil an Ackerbohnen-Bruchkorn.....	129
Abbildung 52:	Kornertrag der Reinsaat sowie des gesamten Gemenges und Ertragsanteile von Ackerbohne und Saflor im Sortenversuch, n = 4.....	130
Abbildung 53:	Kornertrag der Reinsaat sowie des gesamten Gemenges und Ertragsanteile von Ackerbohne und Saflor im Saatstärkenversuch 2024, n = 4.....	131
Abbildung 54:	Kornertrag der Reinsaat sowie des gesamten Gemenges und Ertragsanteile von Ackerbohne und Saflor im Saatstärkenversuch 2025, n = 4.....	132
Abbildung 55:	Kornertrag des gesamten Gemenges und Ertragsanteile von Ackerbohne und der jeweiligen Ölfrucht für zwei Reihenabstände (RA) im Reihenversuch, Körnerhanf wurde nicht berücksichtigt, n = 4. ....	133
Abbildung 56:	Kornertrag des gesamten Gemenges und Ertragsanteile von Ackerbohne und Saflor bei Aussaat in ein oder zwei Überfahrten, n = 4 .....	134
Abbildung 57:	Ausbleibender Feldaufgang im Gemenge Sojabohne/Leindotter bei späterer Saat 2023.....	139
Abbildung 58:	Gemenge Sojabohne/Leindotter bei früherer Saat 2023 .....	139

Abbildung 59: Gemenge Sojabohne/Körnerhanf Ende Juli 2024 .....	140
Abbildung 60: Hülsenansatz von Sojabohne im Gemenge mit Leindotter (links) und in Reinsaat (rechts) Mitte August 2025 .....	141
Abbildung 61: Entwicklung der Sojabohne Mitte Juli 2025 mit Saflor (links) und Leindotter (rechts).....	142
Abbildung 62: Kornertrag der Reinsaaten sowie des gesamten Gemenges und Ertragsanteile von Sojabohne und Saflor (2024) bzw. Leindotter (2025) im Sortenversuch, n = 4 .....	147
Abbildung 63: Kornertrag der Reinsaaten sowie des gesamten Gemenges und Ertragsanteile von Sojabohne und Saflor im Saatstärkenversuch 2024, n = 4 .....	148
Abbildung 64: Kornertrag des gesamten Gemenges und Einzelkornträge von Sojabohne und der jeweiligen Ölfrucht in alternierenden (alt.) Reihen oder in zwei Überfahrten für zwei Reihenabstände (RA) im Jahr 2024, n = 4 .....	149
Abbildung 65: Frostschäden und Krankheitssymptome der Winterackerbohnenpflanzen im Gemenge mit Winterraps im Frühjahr 2024 .....	154
Abbildung 66: Gestauchte Wuchsform der Wintererbsen, vermutlich aufgrund von Frostschäden im Gemenge mit Winterraps im Frühjahr 2024.....	155
Abbildung 67: Unterschiede im Wuchs von Winterraps und Winterackerbohne (mittig im Bild) im Gemenge Ende März 2024 .....	155
Abbildung 68: Verstärkte Beschattung der Winterackerbohnen durch die ausladende Wuchsform von Winterraps zur Blüte Mitte April 2024 .....	156
Abbildung 69: Frostschäden sowie Krankheitssymptome an einer Winterackerbohnen-Pflanze im März 2025.....	157
Abbildung 70: Wuchsvorsprung der blühenden Winterackerbohne im Gemenge mit Saflor Mitte Mai 2025.....	157
Abbildung 71: Abreifende Winterackerbohne Mitte Juli 2025 im Gemenge mit Leindotter (links) und Saflor (rechts).....	158
Abbildung 72: Wirkungskategorie „Klimawandel“ ausgewählter Varianten im Anbaujahr 2025 mit Aufteilung in relevante Emissionsquellen (Varianten mit Sojabohne aus dem Jahr 2024) .....	162
Abbildung 73: Wirkungskategorie „marine Eutrophierung“ ausgewählter Varianten im Anbaujahr 2025 mit Aufteilung in relevante Emissionsquellen (Varianten mit Sojabohne aus dem Jahr 2024) .....	164
Abbildung 74: Klimawandel der Nutzenkörbe „Ertrag“ im Anbaujahr 2024. Die Nutzenkörbe waren 1 t Ackerbohne (BA) mit 0,436 t Saflor (SFL); 1 t Erbse (EF) mit 0,311 t Leindotter (LND); 1 t Sojabohne (SJ) mit 0,421 t Saflor (SFL).....	166

---

Abbildung 75:	Klimawandel der Nutzenkörbe „Ertrag“ im Anbaujahr 2025. Die Nutzenkörbe waren 1 t Ackerbohne (BA) mit 1,172 t Saflor (SFL); 1 t Erbse (EF) mit 0,489 t Leindotter (LND).....	168
Abbildung 76:	Klimawandel der Nutzenkörbe „Qualität“ im Anbaujahr 2025. Die Nutzenkörbe waren bei Ackerbohne (BA) und Saflor (SFL) 1 t Rohprotein und 0,810 t Öl und bei Erbse (EF) und Leindotter (LND) 1 t Rohprotein und 0,917 t Öl.....	170
Abbildung 77:	Marine Eutrophierung der Nutzenkörbe „Ertrag“ im Anbaujahr 2024. Die Nutzenkörbe waren 1 t Ackerbohne (BA) mit 0,436 t Saflor (SFL); 1 t Erbse (EF) mit 0,311 t Leindotter (LND); 1 t Sojabohne (SJ) mit 0,421 t Saflor .....	171
Abbildung 78:	Marine Eutrophierung der Nutzenkörbe „Ertrag“ im Anbaujahr 2025. Die Nutzenkörbe waren 1 t Ackerbohne (BA) mit 1,172 t Saflor (SFL); 1 t Erbse (EF) mit 0,489 t Leindotter (LND).....	172
Abbildung 79:	Impressionen aus den Feldversuchen, von links nach rechts und oben nach unten: Hummel auf Saflorblüte, Gemenge Erbse/Saflor, Biene auf Saflorblüte, Gemenge Erbse/Leindotter mit Phacelia, Gemenge Erbse/Leindotter, Biene auf Ackerbohnenblüte, Gemenge Ackerbohne/Leindotter, Biene auf Leindotterblüte .....	178



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Versuchsflächen und Nährstoffgehalte im Boden zur Aussaat im Frühjahr ( $P_2O_5$ , $K_2O$ und $MgO$ in mg/100g Boden, n. e. = nicht ermittelt).....	43
Tabelle 2:	Nährstoffgehalte im Boden zur Aussaat im Herbst 2023 und 2024 (n. e. = nicht ermittelt).....	44
Tabelle 3:	Verteilung der Niederschlagssumme (NS-Summe) auf die Entwicklungsschritte (BBCH) Blüte und Kornfüllung von Erbse, Ackerbohne und Sojabohne in den Jahren 2024 und 2025.....	45
Tabelle 4:	Produktionstechnische Maßnahmen in den Feldversuchen (Angaben in Klammern: 1 = Fläche 1, 2 = Fläche 2, EF = Erbse, BA = Ackerbohne, SJ = Sojabohne).....	48
Tabelle 5:	Produktionstechnische Daten für den Anbaustandard.....	49
Tabelle 6:	Übersicht über die Sorteneigenschaften der angebauten Erbsen nach Einschätzung durch das BSA im Jahr 2023 [43] und 2025 [44]; Tausendkornmasse (TKM) bestimmt durch TFZ .....	52
Tabelle 7:	Varianten im Saatstärkenversuch Erbse/Leindotter.....	52
Tabelle 8:	Übersicht der Faktoren und Stufen in den Reihenversuchen mit Erbse .....	53
Tabelle 9:	Übersicht über die Sorteneigenschaften der angebauten Ackerbohnen nach Einschätzung durch das BSA im Jahr 2023 [43] und 2025 [44]; TKM bestimmt durch TFZ .....	54
Tabelle 10:	Varianten im Saatstärkenversuch Ackerbohne/Saflor, Angabe der Saatstärken in keimfähigen Körnern pro Quadratmeter und in Prozent der Reinsaatstärke .....	54
Tabelle 11:	Übersicht der Faktoren und Stufen in den Reihenversuchen mit Ackerbohne .....	55
Tabelle 12:	Übersicht über die Sorteneigenschaften der angebauten Sojabohnen nach Einschätzung durch das BSA im Jahr 2023 [43] und 2025 [44]; TKM bestimmt durch TFZ .....	56
Tabelle 13:	Varianten im Saatstärkenversuch Sojabohne/Leindotter (2023) und Sojabohne/Saflor (2024).....	56
Tabelle 14:	Übersicht der Faktoren und Stufen in den Reihenversuchen mit Sojabohne .....	57
Tabelle 15:	Übersicht der Varianten in den Reinkulturversuchen der Sommerungen .....	58
Tabelle 16:	Varianten zur gemischten Saat in gleicher Ablagetiefe im Jahr 2024 .....	59
Tabelle 17:	Saattermine im Versuch zum Aussaattermin von Sojabohne und Futtererbse .....	60
Tabelle 18:	Übersicht der Varianten in den Reinkulturversuchen der Winterung.....	61

Tabelle 19:	Parameter und Prüfmethode durchgeführter Bodenanalysen.....	67
Tabelle 20:	Parameter und Prüfmethoden der durchgeführten Kornanalysen .....	67
Tabelle 21:	Kulturspezifische Informationen zu Trockensubstanzgehalten, Korn-Stroh-Verhältnissen und Stickstoffgehalten [39] [95], Verhältnis der unterirdischen Biomasse zur oberirdischen Biomasse sowie Stickstoffgehalt der unterirdischen Pflanzenzeile [157]. Für Leindotter und Saflor wurden Daten von Raps und Sonnenblume verwendet. ....	69
Tabelle 22:	Betriebsmittel und Feldemissionen Lachgas und Nitrat des Anbaus von Ackerbohne und Saflor in Reinsaat sowie von Ackerbohne-Saflor im Gemenge im Anbaujahr 2025.....	72
Tabelle 23:	Arbeitsverfahren mit Dieserverbrauch in kg/ha des Anbaus von Ackerbohne und Saflor in Reinsaat sowie von Ackerbohne und Saflor im Gemenge im Anbaujahr 2025.....	73
Tabelle 24:	Beschreibung der Parameter für die Berechnung der direkten Lachgasemissionen aus Ernte- und Wurzelrückständen [132].....	75
Tabelle 25:	Gruppierte Emissionsquellen und Definition Emissionsquellen .....	77
Tabelle 26:	Auswahl der Anbausysteme zur Identifikation relevanter Parameter mit vereinfachter Bezeichnung und Bezeichnung im Versuchsaufbau ...	78
Tabelle 27:	Entwicklung der Erbsen, Blüte entspricht BBCH 60 bis 69, Kornfüllung entspricht BBCH 70 bis 89 .....	94
Tabelle 28:	Entwicklung von Leindotter, Blüte entspricht BBCH 60 bis 69, Kornfüllung entspricht BBCH 70 bis 89.....	94
Tabelle 29:	Entwicklung von Saflor, Blüte entspricht BBCH 60 bis 69, Kornfüllung entspricht BBCH 70 bis 89 .....	95
Tabelle 30:	Wuchshöhen zur Blüte im Jahr 2024 und 2025 in den Versuchen der Gemenge Erbse/Leindotter (EF/LND) und Erbse/Saflor (EF/SFL) sowie der Reinsaaten ( $S$ = Saatstärke in Körner/m <sup>2</sup> , $RA$ = Reihenabstand in cm, n. e. = nicht erfasst) .....	100
Tabelle 31:	Rechnerischer relativer Flächenertrag (RYT) der Erbsen-Gemenge in den Jahren 2024 und 2025, berechnet mit gedüngter (RYT+N) und ungedüngter Ölfrucht (RYT-N) .....	113
Tabelle 32:	Rohprotein- und Ölgehalt verschiedener Kulturen im Erbsen-Gemenge im Vergleich zur Reinsaat .....	115
Tabelle 33:	Entwicklung der Ackerbohnen, Blüte entspricht BBCH von 60 bis 69, Kornfüllung entspricht BBCH von 70 bis 89.....	118
Tabelle 34:	Wuchshöhen zur Blüte 2024 und 2025 in den Versuchen der Gemenge Ackerbohne/SFL (BA/SFL) und Ackerbohne/Leindotter (BA/LND) sowie der Reinsaaten ( $S$ = Saatstärke in Körner/m <sup>2</sup> , $RA$ = Reihenabstand in cm, n. e. = nicht erfasst) .....	120
Tabelle 35:	Wuchshöhen zur Ernte 2024 und 2025 in den Versuchen der Gemenge Ackerbohne/SFL (BA/SFL) und Ackerbohne/Leindotter	



	(BA/LND) sowie der Reinsaat (S = Saatstärke in Körnern/m <sup>2</sup> , RA = Reihenabstand in cm, n. e. = nicht erfasst).....	121
Tabelle 36:	Rechnerischer relativer Flächenertrag (RYT) der Ackerbohnen-Gemenge in den Jahren 2024 und 2025, berechnet mit gedüngter (RYT+N) und ungedüngter Ölfrucht (RYT-N).....	135
Tabelle 37:	Rohprotein- und Ölgehalt verschiedener Kulturen im Ackerbohnen-Gemenge im Vergleich zur Reinsaat.....	137
Tabelle 38:	Entwicklung von Sojabohnen, Leindotter und Saflor, Blüte entspricht BBCH von 60 bis 69, Kornfüllung entspricht BBCH von 70 bis 89.....	140
Tabelle 39:	Sortenunterschiede im Verlauf der Abreife bei Sojabohne anhand BBCH-Stadien im Jahr 2025.....	142
Tabelle 40:	Wuchshöhen zur Blüte und Ernte 2024 der Gemenge Sojabohne/SFL (SJ/SFL) und Sojabohne/Leindotter (SJ/LND) sowie der Reinsaat (S = Saatstärke in Körnern/m <sup>2</sup> , RA = Reihenabstand, n. e. = nicht erfasst).....	144
Tabelle 41:	Wuchshöhen zur Blüte und Ernte 2025 der Gemenge Sojabohne/SFL (SJ/SFL) und Sojabohne/Leindotter (SJ/LND) sowie der Reinsaat...	145
Tabelle 42:	Rohprotein- und Ölgehalt von Sojabohne im Gemenge im Vergleich zur Reinsaat im Jahr 2024 .....	151
Tabelle 43:	Rohproteingehalt und Ölgehalt von Sojabohne im Sortenversuch Sojabohne/Leindotter 2025.....	152
Tabelle 44:	Anteil an freien Fettsäuren in % im Öl der Ölpflanzen im Gemenge (Anbaustandard) im Vergleich zur Reinsaat (n. e. = nicht erfasst).....	153
Tabelle 45:	Kornerträge der Winterackerbohnen (WBA) im Gemenge mit Leindotter und Saflor sowie in Reinsaat.....	159
Tabelle 46:	Empfohlene Mähdreschereinstellungen bei der Ernte der Reinsaat und Gemenge.....	176
Tabelle 47:	Übersicht der getesteten Gemenge mit den wichtigsten Bewertungskriterien.....	177
Tabelle 48:	Mittelwerte und Standardabweichung (n = 4) der Kornerträge (FM nach Trocknung und Reinigung) des Gemengeanbaus von Erbse und Leindotter bzw. Saflor im Jahr 2024 bei unterschiedlichen Erbsensorten (Sortenversuch), unterschiedlichen Saatstärken (Saatstärkenversuch), unterschiedlichen Reihenweiten (Reihenversuch) und verschiedenen Mischungen mit unterschiedlichen Saatverfahren (Mischungen) sowie als Referenz Erbse, Leindotter und Saflor in Reinsaat.....	197
Tabelle 49:	Mittelwerte und Standardabweichung (n = 4, *n = 1) der Kornerträge (FM nach Trocknung und Reinigung) des Gemengeanbaus von Erbse und Leindotter bzw. Saflor im Jahr 2025 bei unterschiedlichen Erbsensorten (Sortenversuch), unterschiedlichen Saatstärken (Saatstärkenversuch) und unterschiedlichen Reihenweiten (Reihenversuch) sowie als Referenz Erbse, Leindotter und Saflor in Reinsaat.....	199

Tabelle 50:	Mittelwerte und Standardabweichung (n = 4) der Kornerträge (FM nach Trocknung und Reinigung) des Gemengeanbaus von Ackerbohne und Saflor bzw. Leindotter im Jahr 2024 bei unterschiedlichen Ackerbohnsorten (Sortenversuch), unterschiedlichen Saatstärken (Saatstärkenversuch), unterschiedlichen Reihenweiten (Reihenversuch) und verschiedenen Mischungen mit unterschiedlichen Saatverfahren (Mischungen) sowie als Referenz Ackerbohne, Leindotter und Saflor in Reinsaat .....	200
Tabelle 51:	Mittelwerte und Standardabweichung (n = 4) der Kornerträge (FM nach Trocknung und Reinigung) des Gemengeanbaus von Ackerbohne und Saflor bzw. Leindotter im Jahr 2025 bei unterschiedlichen Ackerbohnsorten (Sortenversuch), unterschiedlichen Saatstärken (Saatstärkenversuch), unterschiedlichen Reihenweiten (Reihenversuch) sowie als Referenz Ackerbohne, Leindotter und Saflor in Reinsaat .....	202
Tabelle 52:	Mittelwerte und Standardabweichung (n = 4, *n = 1) der Kornerträge (FM nach Trocknung und Reinigung) des Gemengeanbaus von Sojabohne und Saflor, Leindotter bzw. Hanf im Jahr 2024 bei unterschiedlichen Sojabohnensorten (Sortenversuch), unterschiedlichen Saatstärken (Saatstärkenversuch), unterschiedlichen Reihenweiten (Reihenversuch) und verschiedenen Mischungen mit unterschiedlichen Saatverfahren (Mischungen) sowie als Referenz Ackerbohne, Leindotter und Saflor in Reinsaat .....	203
Tabelle 53:	Mittelwerte und Standardabweichung (n = 4, *n = 1) der Kornerträge (FM nach Trocknung und Reinigung) des Gemengeanbaus von Sojabohne und Leindotter im Jahr 2025 bei unterschiedlichen Sojabohnensorten (Sortenversuch) sowie als Referenz Ackerbohne, Leindotter und Saflor in Reinsaat .....	204
Tabelle 54:	Betriebsmittel und Feldemissionen Lachgas und Nitrat des Anbaus von Futtererbse und Leindotter in Reinsaat sowie von Futtererbse/Leindotter im Gemenge im Anbaujahr 2025 .....	205
Tabelle 55:	Arbeitsverfahren mit Dieserverbrauch in kg/ha des Anbaus von Futtererbse und Leindotter in Reinsaat sowie von Futtererbse/Leindotter im Gemenge im Anbaujahr 2025 .....	205
Tabelle 56:	Betriebsmittel und Feldemissionen Lachgas und Nitrat des Anbaus von Ackerbohne, Saflor und Sojabohne in Reinsaat sowie von Ackerbohne/Saflor im Gemenge und Sojabohne/Saflor im Gemenge im Anbaujahr 2024 .....	206
Tabelle 57:	Arbeitsverfahren mit Dieserverbrauch in kg/ha des Anbaus von Ackerbohne, Saflor und Sojabohne in Reinsaat sowie von Ackerbohne/Saflor im Gemenge und Sojabohne/Saflor im Gemenge im Anbaujahr 2024 .....	207
Tabelle 58:	Betriebsmittel und Feldemissionen Lachgas und Nitrat des Anbaus von Futtererbse und Leindotter in Reinsaat sowie von Futtererbse/Leindotter im Gemenge im Anbaujahr 2024 .....	208

---

Tabelle 59:	Arbeitsverfahren mit Dieserverbrauch in kg/ha des Anbaus von Futtererbse und Leindotter in Reinsaat sowie von Futtererbse/Leindotter im Gemenge im Anbaujahr 2024.....	208
-------------	--	-----



# 1 Einleitung

Mischanbau ist ein Anbauverfahren mit potenziellen Vorteilen gegenüber einer klassischen Reinkultur. Bereits die Maya waren sich dieser Tatsache bewusst: Als „drei Schwestern“ oder Milpa-Anbausystem bekannt wurden Mais, Bohne und Kürbis zusammen kultiviert. Zum einen wurden alle drei Pflanzen als Nahrungs- oder Futtermittellieferant genutzt. Zum anderen ergänzen sie sich auch positiv in ihrem Wachstum und den Auswirkungen auf den Boden. Mais dient der Bohne als Rankhilfe und gibt Stabilität. Kürbis bedeckt mit seinem dichten Blattwerk den Boden, schützt so vor Erosion und unterdrückt effizient Beikräuter. Seine Blattmasse trägt zusätzlich zum Humusaufbau bei. Bohnen unterstützen durch die Stickstofffixierung der Knöllchenbakterien, mit denen sie eine Symbiose eingehen, die Stickstoffversorgung der Pflanzen [138].

Mit der Intensivierung in der Landwirtschaft und weiter steigenden Anforderungen an die Flächenleistung verlor der als eher extensives Anbausystem einzuordnende Mischanbau an Bedeutung. Einen erfolgreichen Gemengeanbau bei gleichzeitiger Mechanisierung zu gestalten, stellt sich ohne hohe Investitionskosten für die entsprechende Technik als schwierig dar. Dies liegt an den differenten Ansprüchen verschiedener Kulturen an Saat, Pflege und Ernte. Die zunehmend anspruchsvolleren Witterungsbedingungen mit langen Trockenperioden erschweren insbesondere den Anbau von Körnerleguminosen, die einen hohen Wasserbedarf während der Wachstumsphase haben. Daher zeigen diese mangelnde Ertragsstabilität. Eine weitere Kultur könnte dies in Jahren mit schwierigen Wachstumsbedingungen für die Leguminose ausgleichen. Die hohe Trockenheitstoleranz extensiver Ölpflanzen, wie beispielsweise Leindotter [118] und Saflor [23], machen sie als Gemengepartner für Leguminosen interessant. Zudem sind sie nicht zwangsläufig auf Pflanzenschutzmittel angewiesen und bezüglich Stickstoffbedarf genügsam. Der Mischanbau von Leguminosen mit Ölfrüchten bietet daher weitere mögliche Vorzüge für die moderne Landwirtschaft: Pflanzenschutzmittel können eingespart und auf eine hohe Stickstoffdüngung kann verzichtet werden. Zusätzlich kann die Biodiversität am Acker erhöht und die Bodengesundheit gefördert werden [9].

Da es viele Möglichkeiten für die Kombinationen von Kulturen für den Mischanbau und deren Ausbringung und Pflege gibt, ist umfangreiche Forschungsarbeit nötig. Ziel ist es, Anbausysteme zu entwickeln, die unter bayerischen Verhältnissen sinnvoll umgesetzt werden können. Dabei steht neben den ökologischen Zielen mit der Treibhausgasreduktion und dem Fördern der Biodiversität besonders auch die Praxisrelevanz im Vordergrund. Während der Mischanbau von Getreide mit Leguminosen oder Ölfrüchten sehr gut erforscht ist, existieren für die Kombination aus Körnerleguminosen und Ölpflanzen bisher nur wenige Erkenntnisse. Daher sollen im Projekt „Mischanbau zur Produktion von Pflanzenölen und -proteinen als Nachwachsende Rohstoffe“ verschiedene Systeme getestet und optimiert werden und schließlich in die Beratung der praktischen Landwirtschaft einfließen.



## 2 Stand des Wissens

### 2.1 Vorstellung der Körnerleguminosen

Zur Familie der Leguminosen (*Fabaceae*), auch Hülsenfrüchtler genannt, gehören eiweißreiche Körnerfruchtarten, die als Futter- und Nahrungsmittel seit langer Zeit genutzt werden [90]. In Deutschland wurden 2022 auf 288.000 ha Körnerleguminosen zur Körnerproduktion angebaut. Die Fläche stieg zwar in den letzten drei Jahren deutlich an, trotzdem bleiben Leguminosen mit einem Anbau auf nur ca. 2,5 % der gesamten ackerbaulich genutzten Fläche [148] eine Nischenkultur. Die Verwendung als Nachwachsender Rohstoff macht nur einen sehr geringen Anteil aus (vgl. 2.3). Ein Großteil der Erntemenge dient der Futtermittelerzeugung [34]. Die Deutsche Agrarforschungsallianz (DAFA) empfiehlt in ihrer Strategie zur Steigerung des Leguminosenanbaus eine Ausrichtung auf die Erzeugung zur menschlichen Ernährung [161]. Zusätzlich wird im aktuellen Koalitionsvertrag die Ausweitung der Produktion von Fleischersatzprodukten durch pflanzliches Eiweiß als erstrebenswert angesehen [37]. Trotzdem finden sich aufgrund des für bestimmte Kulturen niedrigeren ernährungsphysiologischen Werts [74] und ihrer Ertragsinstabilität bisher wenig Verwendungen [10] zur direkten Versorgung als pflanzliches Eiweiß in der Humanernährung. Mit einer Abnahme des Fleischkonsums und der damit benötigten Futtermittelmengen wird allerdings gerechnet, sodass voraussichtlich Alternativen zur Deckung des Eiweißbedarfs immer mehr nachgefragt werden. Im Jahr 2022 wurden in Deutschland 106.900 ha Erbsen, 71.100 ha Ackerbohnen und 51.500 ha Sojabohnen angebaut [148]. Im weltweiten Anbau liegt die Sojabohne flächenbezogen mit 50 Mio. ha an erster Stelle des Leguminosenanbaus. Gefolgt von Kichererbse und Erbse (je 10 Mio. ha) sowie Ackerbohne und Linse (je 3 Mio. ha) [10]. Aktuell wird der Großteil der in Deutschland benötigten pflanzlichen Eiweißmenge importiert [147]. Insbesondere der Import von Sojabohnen aus Südamerika für die Tierernährung steht stark in der Kritik. Um die nötigen Flächen für die hohe Nachfrage bereitstellen zu können, werden natürliche Ökosysteme, darunter tropischer Regenwald, zerstört. Der einheimische Anbau von Eiweißpflanzen ist eine Möglichkeit, diese Importe zu reduzieren und gleichzeitig von Vorteilen des Anbaus für die hiesige Landwirtschaft zu profitieren. Dafür müssen allerdings neben ökologischen und strukturellen Vorteilen auch ökonomische Anreize gesetzt werden. Dies ist laut DAFA vor allem durch politische Strategien zur Förderung und eine gezielten Forschungsstrategie, um bestehende Wissenslücken zu schließen, möglich [161]. Interdisziplinarität, Untersuchungen und Verbesserungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette sind nötig, um den Leguminosenanbau, inklusive des Mischanbaus mit anderen Kulturen, voranzutreiben.

#### 2.1.1 Bedeutung von Leguminosen in der Landwirtschaft

Leguminosen gehen mit Bakterien der Gattungen *Rhizobium* und *Bradyrhizobium* eine Symbiose ein. Bei Ackerbohne und Erbse handelt es sich um die Art *Rhizobium leguminosarum* und bei Sojabohne um *Bradyrhizobium japonicum* [10]. Die Bakterien binden elementaren Stickstoff ( $N_2$ ) aus der Luft, indem dieser zu Ammoniak reduziert wird. Der Vorgang wird auch als  $N_2$ -Fixierung bezeichnet. Durch die Überführung in organische

Verbindungen wird der Stickstoff den Pflanzen verfügbar gemacht. Dadurch können sie die Stickstoff (N)-Versorgung der Nicht-Leguminosen im Gemenge und der Nachfrucht positiv beeinflussen und N-Düngemittel können eingespart werden. Die N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung schwankt stark und ist besonders abhängig von der Wasserverfügbarkeit und dem Gehalt mineralischen Stickstoffs (N<sub>min</sub>) im Boden. In einem Versuch mit mehreren Sorten über zwei Jahre und drei Standorte schwankte sie bei Sojabohnen zwischen 35 und 269 kg N/ha und bei Erbsen zwischen 80 und 184 kg N/ha [45]. Die symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung wird mit sehr unterschiedlichen Werten angegeben. Ohne zusätzliche Düngung wurden N-Mengen von bis zu 282,2 kg N/ha ermittelt, die stets höher lagen als in gedüngten Varianten [8]. Durchschnittlich werden von 170 kg/ha in Leguminosen fixiertem Stickstoff ca. 30 kg für die Nachfrucht zu Verfügung gestellt [14].

Der Vorfruchtwert von Leguminosen variiert stark und wird auf 175–510 €/ha geschätzt [6]. Im Projekt „DemoNetErBo“ im Rahmen der Eiweißpflanzenstrategie (BMEL) wurde ebenfalls der Vorfruchtwert über vier Jahre bestimmt. Er lag für konventionell erzeugte Ackerbohnen, auf Basis der jeweiligen Marktpreise, bei 170 €/ha und bei Erbsen bei 125 €/ha. Der Mehrertrag in der Folgekultur lag bei 90 bis 125 €/ha. Die Einsparung von N-Düngemittel in der Nachfrucht belief sich auf 25 bis 30 kg N/ha [155]. Die Forschenden kamen zu dem Schluss, dass Erbse und Ackerbohne ökonomisch mit Hauptkulturen mithalten können, wenn sie mit gleicher Aufmerksamkeit gegenüber Anbau und Vermarktung behandelt werden und ihr Vorfruchtwert berücksichtigt wird.

Durch Verzicht auf mineralische N-Düngemittel kann Energieaufwand (in Form fossiler Energieträger) eingespart werden, CO<sub>2</sub>- und Lachgas-Emissionen werden dadurch reduziert [96]. Daneben bringt der Leguminosenanbau weitere Vorteile. Er leistet einen Beitrag zur Steigerung der Biodiversität von Flora und Fauna und kann Krankheitsübertragungen unterbrechen, insbesondere bodenbürtige Getreidekrankheiten [96] [133]. Beim Anbau von Ackerbohnen können allelopathische Effekte durch am Feld verbleibendes Pflanzenmaterial die Beikrautunterdrückung verbessern [96]. Der Anbau von Leguminosen kann zu einer verbesserten Bodengare führen. Außerdem tragen sie zum Phosphataufschluss bei [27] [30] [93], unterbrechen Infektionsketten und fördern die Biodiversität [158]. Das enge C/N-Verhältnis des Leguminosenstrohs führt zu einer raschen Mineralisierung. Der freigesetzte Stickstoff steht so für die Nachfrucht zur Verfügung. Da nach der Ernte von Leguminosen oft hohe Mengen an Stickstoff, auch in Form von Nitrat, im Boden verbleiben können [105], ist ohne nachfolgenden Pflanzenbewuchs von höheren Stickstoffverlusten und Nitratauswaschung auszugehen. Anschließende Zwischenfrüchte, die auch bei später Saat hohe N-Mengen aufnehmen können, sind ideal, um dieses Risiko zu minimieren [13].

Ähnliche Erkenntnisse resultierten aus einer Befragung von zehn Landwirtschaftsbetrieben [140], die Leguminosen in ihrer Fruchtfolge integriert haben: Als Vorteile des Leguminosenanbaus wurden eine verbesserte Feldhygiene, Bodengare, Vorteile in der Arbeitswirtschaft, Stickstoffeinsparungen und geringerer Pflanzenschutz Aufwand genannt. Zu den Nachteilen zählte die Ertragsunsicherheit, schlechte Wirtschaftlichkeit, geringe Verfügbarkeit wirksamer Pflanzenschutzmittel, schlechte Vermarktungsmöglichkeiten und Probleme mit Durchwuchs aus Druschverlusten in der Nachfolgekultur [140]. Aufgrund der



geringeren Ertragsstabilität von Leguminosen wird häufig zu Misanbau mit Getreide, anderen Leguminosen oder Ölpflanzen geraten [26].

### 2.1.2 Anbau von Erbse, Ackerbohne und Sojabohne

Die Erbse (*Pisum sp.*) gilt als eine der bedeutendsten Leguminosen der gemäßigten Klimazone [90]. Sie wird je nach Nutzungsrichtung in Futter- und Körnererbsen unterschieden. Die Ackerbohne (*Vicia faba* L.) ist eine einjährige weltweit angebaute Futter- und Nahrungsmittelpflanze. Sie ist wenig wärmebedürftig, wächst gut in maritimem Klima und verlangt eine hohe Wasserversorgung [111]. Die Sojabohne (*Glycine max* L.) wird vorrangig zur Erzeugung von Futter- und Nahrungsmitteln kultiviert [90]. Sojabohnen enthalten durchschnittlich 19 % Öl und 36 % Eiweiß [133]. Daher wird sie als Öl- sowie Eiweißlieferant angebaut [111]. Bis zum 17. Jahrhundert kam sie als Kulturpflanze ausschließlich in China vor [90]. In Deutschland stieg ihre Popularität in den letzten Jahren mit der Suche nach alternativen Kulturen, die gut mit den zukünftigen Klimabedingungen zurechtkommen, zunehmend an. Der Anbau eignet sich derzeit noch besonders für Süddeutschland. Rund 80 % der Soja-Anbaufläche in Deutschland liegen in Bayern und Baden-Württemberg [4]. Unter Beurteilung von Bodenwertzahl, Wärmesummen, Globalstrahlung und Niederschlagssummen sind Ober- und Niederbayern größtenteils sehr gut geeignet. Dies wird auf der Karte des Julius Kühn-Instituts zur Anbaueignung von Sojabohne in Deutschland deutlich [92]. Der Erbsen- und Ackerbohnenanbau ist als Sommerung und Winterung möglich [74]. Der Standort sollte nicht zu extremer Trockenheit oder starker Nässe neigen. Allgemein eignet sich der Anbau in einem mäßig feuchten und nicht zu warmen Klima [111]. Im Vergleich zu Ackerbohne und Erbse hat die Sojabohne einen erhöhten Wärmebedarf. Extreme Trockenheit verträgt sie allerdings ebenfalls nicht gut. Klimlagen mit hohen Temperaturen und gleichzeitig moderaten Niederschlägen sind ideal für einen erfolgreichen Sojaanbau [111]. Wird Soja das erste Mal angebaut, muss das Saatgut für eine erfolgreiche Stickstofffixierung mit Knöllchenbakterien geimpft werden. Die benötigten Rhizobakterien sind in deutschen Böden naturgemäß nicht vorhanden. Bei Erbsen wird eine Anbaupause von vier bis acht Jahren empfohlen. Bei Ackerbohnen sind es drei bis fünf und bei Sojabohne drei bis vier Jahre [99].

Im Frühjahr ist eine wassersparende und bodenschonende Bearbeitung zu empfehlen, z. B. mit Zinken- oder Kreiselegge. Gute Startbedingungen mit einem ebenen, beikrautfreien, mittelkrümeligen und bis zu 8 cm tief gelockerten Saatbett sind Grundvoraussetzungen für einen erfolgreichen Anbau von Leguminosen [93]. Der Feldaufgang wird maßgeblich durch den Bodenwassergehalt und die Bodentemperatur bestimmt [133]. Die Erbse hat eine höhere Wassernutzungseffizienz als die Ackerbohne und kann auch bei geringerem Wasserangebot gute Erträge erzielen. Ackerbohnen haben einen hohen Keimwasserbedarf, weshalb eine frühe Aussaat ab Mitte März zu empfehlen ist [14]. Essenziell für einen guten Ackerbohnen-Ertrag sind demnach tiefgründige Böden mit hoher Wasserhaltefähigkeit [27]. Sojabohne wird erst ab einer Bodentemperatur von 6 bis 10 °C und damit in Süddeutschland Ende April bis Anfang Mai gesät [5]. Eine ausreichend tiefe Aussaat ermöglicht eine verlustarme Durchführung von Beikrautregulierungsmaßnahmen im Voraufbau und eine bessere Wasserversorgung des Korns, weshalb allgemein

Ablagetiefen von 4 bis 6 cm, bei Ackerbohnen bis 8 cm, empfohlen werden. Um den Beikrautbesatz niedrig zu halten, sind eine gleichmäßige Ablage und dadurch entstehende homogene Bestände ohne Lücken ebenfalls besonders wichtig. Ausgesät werden 40 bis 45 Kö/m<sup>2</sup> Ackerbohnen, 80 bis 100 Kö/m<sup>2</sup> Erbsen [111] und 60 Kö/m<sup>2</sup> Sojabohnen [5].

Als Beikrautregulierungsmaßnahme ist das Striegeln, teilweise auch Hacken, effektiv. Im Voraufbau ist zudem das Blindstriegeln [111] oder die Verwendung eines Herbizids denkbar. Im Erbsenanbau ist Striegeln die beste Wahl als Beikrautregulierungsmaßnahme [27]. Auf Herbizide kann nicht immer verzichtet werden, da Erbsen nur ein schwaches Konkurrenzvermögen besitzen [111]. Durch optimale Startbedingungen und Kulturführung kann der Einsatz allerdings reduziert, bestenfalls sogar ganz vermieden werden. Dies ist nötig, da immer weniger Wirkstoffe zur Verfügung stehen [28] [93] [31]. In frühen Stadien (Vier- bis Fünfblattstadium) kann Sojabohne ebenfalls gestriegelt werden. Ab einer Pflanzenlänge von ca. 12 cm vertragen die Pflanzen Pflegearbeiten nicht mehr gut [111]. Aufgrund der zögerlichen Jugendentwicklung von Leguminosen ist der Zeitbedarf zwischen Feldaufgang und Bestandsschluss groß, wodurch eine erhöhte Gefahr von Verunkrautung entsteht. Eine Spätverunkrautung ist bei Ackerbohne durch frühen Blattabwurf und bei Erbse aufgrund erhöhter Lagergefahr möglich [10].

Auf einen zu niedrigen pH-Wert unter 6,0 reagieren Leguminosen empfindlich und die Aktivität der Knöllchenbakterien ist eingeschränkt. Daher kann eine Kalkdüngung nötig sein, damit eine optimale N<sub>2</sub>-Fixierung und somit die N-Versorgung der Pflanzen sichergestellt ist. Eine ausreichende Versorgung mit Phosphor, Kalium, Schwefel sowie Mikronährstoffen, insbesondere Bor und Molybdän, ist für die volle Leistungsfähigkeit der Knöllchenbakterien angebracht [111]. Erbse und Ackerbohne sind sensibel gegenüber einer schlechten Bodenstruktur. Insbesondere Bodenverdichtungen beeinflussen den Ertrag aufgrund der Auswirkungen auf den Luft- und Wasserhaushalt stark. Daher sollte auf eine Reduzierung der Radlast und einen angepassten Reifeninnendruck geachtet sowie Überfahrten auf zu feuchtem Acker vermieden werden [27]. Futtererbsen sowie Ackerbohnen befinden sich, unabhängig von Sorte und Witterungsbedingungen, zwischen Blühbeginn und Kornfüllung in der kritischsten Phase ihrer Entwicklung [79]. Bei unzureichender Wasserverfügbarkeit während der Blüte sind geringere Erträge durch weniger Blüten- und Hülsenansätze und kleinere Hülsen die Folge [90]. Die Sojabohne hat ebenfalls zwischen der Blüte und Abreife einen erhöhten Wasserbedarf. Eine Beregnung ist oft vorteilhaft [72].

Die Ernte erfolgt, wenn die Pflanzen abgestorben sind. Ackerbohnen färben sich schwarz, die Körner werden hart. Beim Mähdrusch sollte die Kornfeuchte 16 bis 19 % betragen, um zum einen Trocknungskosten bzw. zum anderen Bruchkorn und Risse der Schale gering zu halten. Der Dreschkorb sollte weit gestellt und die Drehzahl der Trommel niedrig sein, um Beschädigungen am Korn zu vermeiden. Für die Erbsenernte sind spezielle Ähren- bzw. Hülsenheber am Mähdrescher vorteilhaft [111]. Sojabohnen werden aufgrund des tieferen Hülsenansatzes bodennah gedroschen. Daher ist ein ebenes Saatbett, frei von Steinen, wichtig [111]. Allgemein werden hohe Ertragsschwankungen bei Leguminosen beobachtet, weshalb von landwirtschaftlichen Betrieben meist andere Kulturen bevorzugt werden [93]. Die Erträge der Erbsen schwanken weniger stark als bei der Ackerbohne [111].

Anfang 2023 wurde das Genom der Ackerbohne vollständig entschlüsselt, wodurch neue vielversprechende Möglichkeiten in der Züchtung eröffnet werden [89]. Besonders im Hinblick auf die Pflanzengesundheit und die Empfindlichkeit gegenüber Trockenstress ist dieser Forschungsfortschritt wichtig. Das Potenzial der Ackerbohne könnte dadurch deutlich erhöht werden.

## 2.2 Vorstellung der Ölfrüchte

Anders als bei kohlenhydrat- und eiweißreichen Körnerfruchtarten zählen zur Gruppe der Ölpflanzen viele sehr unterschiedliche Pflanzenfamilien, darunter *Malvaceae* (z. B. Baumwolle), *Fabaceae* (z. B. Erdnuss, Sojabohne), *Linaceae* (z. B. Öllein), *Cruciferae* (z. B. Raps), *Compositae* (z. B. Sonnenblume) und viele weitere [10]. In gemäßigten Klimazonen wird als Ölfrucht vorrangig Raps angebaut [36]. In deutlich geringen Mengen werden zudem Mohn, Lein, Sonnenblume, Rizinus, Saflor und Hanf angebaut [74]. Der weltweite Bedarf an pflanzlichen Ölen und Fetten wird dagegen überwiegend durch Sojabohne und Erdnuss sowie das aus dem Fruchtfleisch der Ölpalme gewonnene Pflanzenfett abgedeckt [10]. In Deutschland belief sich die Anbaufläche von Ölpflanzen im Jahr 2022 auf ca. 1,19 Mio. ha. Davon wurden allein 1,08 Mio. ha nur für Winterraps genutzt. Auf weiteren 85.600 ha wurden Sonnenblumen kultiviert. Die restliche Fläche teilte sich auf Kulturen mit geringer wirtschaftlicher Bedeutung wie Sommerraps, Senf, Mohn und Öllein auf [148]. Leindotter und Saflor werden dabei nicht genauer aufgeführt. Zusätzlich ist anzumerken, dass Sojabohne in Deutschland nicht als Ölfrucht aufgeführt wird. Hanf wird in der statistischen Erfassung als Faserpflanze gelistet. Die angebaute Fläche, Körnerhanf und Faserhanf zusammengefasst, belief sich 2022 in Deutschland auf 6.943 ha [33].

Die in diesem Projekt untersuchten Kulturen Leindotter, Saflor und Körnerhanf werden nachfolgend genauer dargestellt.

### 2.2.1 Leindotter

Leindotter (*Camelina sativa* L.) war, bevor er zu einer anerkannten Kulturpflanze wurde, als Beikraut im Leinbau bekannt. Er ist einjährig und zählt zur Familie der Kreuzblütler (*Cruciferae*). Seine Samen haben einen hohen Ölgehalt und ein besonderes Fettsäuremuster. Als Lebensmittel ist das Öl wegen seines scharfen Geschmacks weniger geeignet. Die Blütezeit beträgt 20 bis 30 Tage und liegt zwischen Mai und Juli [111]. In Bezug auf die Standortvoraussetzungen ist Leindotter anspruchslos. So ist eine Kultivierung auf sandigen Böden erfolgreich möglich. Er ist nicht selbstverträglich und sollte nicht nach anderen Kreuzblütlern angebaut werden [21] [54] [106]. Im Vergleich zu anderen Ölpflanzen hat er eine höhere Trockenheitstoleranz und wächst gut in semi-ariden Lagen. Das macht ihn im Hinblick auf den Klimawandel interessant [118]. Eine gleichmäßige Samenablage auf 1 cm Tiefe wird empfohlen. Daher sind ein feinkrümeliges und gut vorbereitetes Saatbett und ein Anwalzen der Saat, insbesondere auf leichten Böden, bedeutend. [106]. Für einen Samenertrag von 20 dt/ha sind 110 kg N/ha nötig [81]. Der Anbau von Leindotter fördert durch seine Blüte einen insektenfreundlichen Lebensraum und damit die

Artenvielfalt [139]. Die Ernte findet für gewöhnlich Mitte bis Ende Juli statt. Die Schoten sind platzfest und können daher mit herkömmlicher Technik geerntet werden [111]. Leindotter trägt durch allelopathische Effekte zu einer Unterdrückung von Beikräutern bei. Chemische Verbindungen (Benzylamin, Glucosinulate) gelangen durch Abspülen der Blätter durch Regen, abgestorbenes Pflanzenmaterial und Wurzelexsudate in den Boden und beeinflussen das Wachstum anderer Pflanzen [75]. Glucosinulate wirken außerdem antimykotisch und antibakteriell und fördern so die Widerstandsfähigkeit gegen Krankheiten. Eine Abnahme von Wurzelerkrankungen, gesteigertes Wachstum und Mehrerträge wurden in Mais und Sojabohne als Folgekultur nachgewiesen [75].

### 2.2.2 Saflor

Saflor (*Carthamus tinctorius* L.) wird auch als Färberdistel bezeichnet und gehört zur Familie der Korbblütler (*Compositae*). Er spielte aufgrund seines roten Farbstoffs im 17. und 18. Jahrhundert in Deutschland und Österreich eine bedeutende Rolle [111]. Heute wird er nur noch in geringem Maße angebaut und ist in seiner Nutzung hauptsächlich als Ölpflanze einzuordnen. Auch im industriellen Bereich und als Speiseöl findet er Anwendung [23]. Hauptanbaugebiete befinden sich in tropischen Regionen, z. B. Ägypten, Sudan, Mexiko, Indien, USA [74]. Saflor benötigt eine warme und trockene Witterung, insbesondere ab der Blütenbildung, weshalb er vorrangig in warmen und sonnigen Regionen angebaut wird [23]. Löss- und Kalkverwitterungsböden eignen sich am besten, er wächst aber bei ausreichender Kalkversorgung auch gut auf sandigen Böden. Eine Anbaupause von vier Jahren wird empfohlen. Obwohl er warme Klimate bevorzugt, ist er bis  $-7^{\circ}$  spätfrostverträglich [111] und kann bereits Ende März in 2 bis 3 cm Tiefe und einem Reihenabstand von 13,5 bis 50 cm ausgesät werden. Die Saatstärke beträgt 75 Kö/m<sup>2</sup>. [23]. In Deutschland wird die Sorte „Calin“ als geschützte Sorte (Sortenschutzinhaber Gert Horn) vertrieben. Weitere EU-Sorten sind erhältlich, die allerdings aufgrund starker Botrytis-Anfälligkeit als ertragsinstabil gelten [23]. Potenzial bietet Saflor vorrangig im ökologischen Pflanzenbau oder als Low-Input-Pflanze im konventionellen Pflanzenbau. Die Veränderungen durch den Klimawandel steigern die Anbauwürdigkeit in Süd- und Mitteleuropa [60]. Für ein Ertragsniveau von 20 dt/ha werden 90 kg N/ha als Bedarfswert veranschlagt. Für die Nährstoffe Phosphor, Kalium und Magnesium ist die Versorgungsstufe C anzustreben [23]. Die Ernte unterscheidet sich je nach Nutzungsrichtung des Saflors. Sollen die Blüten als Farbstoff genutzt werden, wird bereits im August von Hand gepflückt [142] [69] [54], während bei der Ölnutzung erst zur Samenreife mit dem Mähdrescher geerntet wird [23].

Auch wenn Saflor im Vergleich zu vielen anderen Kulturpflanzen als toleranter gegenüber Trockenheit gilt, werden seine Ertrageigenschaften (Kornertrag, TKM, Körner/Pflanze) durch eine künstliche Bewässerung positiv beeinflusst. Der Effekt war bei einer Bewässerung zum Zeitpunkt der Blüte am stärksten [66]. Wildtypen zeigen eine erhöhte Trockenheitstoleranz, wenngleich das Ertragsniveau unterhalb der kultivierten Sorten liegt. Allerdings waren Wachstum und Ertrag unter veränderten Umgebungsbedingungen stabiler. Gene der Wildtypen gelten in der Züchtung als geeignete Quelle für die Verbesserung aktueller Sorten [104]. Bei einer späteren Saat im April statt Februar wurde eine Abnahme im Ertrag festgestellt, da die Wachstumsperiode verkürzt war. Bei geringer Saatlücke

erreichten Einzelpflanzen höhere Erträge. Bezogen auf die Fläche wurde durch eine höhere Saatstärke ein höherer Gesamtertrag beobachtet. Frühe Saat führte zu höheren Gehalten von Pigmenten wie Carthamin in Blütenköpfen. Mit steigender Temperatur während der Blüte nimmt der Gehalt an Pigmenten ab [122].

### 2.2.3 Körnerhanf

Hanf (*Cannabis sativa* L.) gilt als eine der ältesten Kulturpflanzen der Menschheit und wurde vorwiegend zur Produktion von Tauen, Seilen und Textilien verwendet. Sein Anbau war in Deutschland von 1982 bis 1996 verboten [25]. Im letzten Jahrzehnt nahm die Anbaufläche wieder zu [35], weshalb Hanf häufig als wiederentdeckte Kulturpflanze bezeichnet wird. Traditionell wurde er als Faserpflanze genutzt [25]. Heutzutage ist in Deutschland allerdings auch die Körnerproduktion und damit die Nutzung als Öl- und Proteinpflanze verbreitet. Hanf benötigt warme Bedingungen zur Saat (Bodentemperatur über 10 °C), einen fruchtbaren und gut durchlüfteten Boden, ausreichend Wasser zur Jugendentwicklung sowie eine moderate Stickstoffdüngung. Er wird in 1 bis 3 cm Tiefe gesät. Sind die Bedingungen nicht optimal, ist mit erhöhtem Beikrautdruck zu rechnen, insbesondere in Beständen mit kurzstrohigen Kornsorten oder weiten Reihenabständen. Eine mechanische Beikrautregulierung mit der Hacke ist zu empfehlen [58].

## 2.3 Verwendung von Pflanzenprotein als Nachwachsender Rohstoff

Eiweißpflanzen werden vorwiegend als Futter- und Nahrungsmittel genutzt. Aus den Proteinen landwirtschaftlicher Erzeugnisse, z. B. auch Nebenprodukte oder Reststoffe, können über unterschiedliche technologische Prozesse die verschiedensten Produkte hergestellt werden [70]. Als Beispiel sind funktionelle Proteinhydrolysate als Lebensmittel- oder Futtermittelzusatz oder als Nährmedium, Polymere, Klebstoffe, Coatings, Folien zu nennen [7]. Pflanzliche Proteine finden außerdem Anwendung als Barrierschicht in Verpackungsmaterialien, als natürliche Tenside in Reinigungsmitteln und als wasserbasierter Schmierstoff [2]. Zusätzlich werden sie als Bindemittel für Sperrholzplatten, in Papierstreichfarben und Tensiden [128], Lacken und Kosmetikprodukten [2] verwendet. Das Eiweiß erhöht die mechanische Belastbarkeit, Bedruckbarkeit und die Haftung wasserlöslicher Druckfarbe [128]. Obwohl es bereits einige Verwendungsmöglichkeiten von Pflanzenproteinen als Nachwachsende Rohstoffe gibt, bleibt dieser Bereich ein Nischenthema. So werden Pflanzen mit Ziel der Proteinverwendung in der Übersicht zum Anbau Nachwachsender Rohstoffe in Deutschland nicht aufgeführt [63]. Häufig können die technologischen Anforderungen, z. B. als alleiniges Bindemittel für Holzwerkstoffe, nicht erfüllt werden. Daher werden sie überwiegend als Zusätze oder zur anteiligen Substitution synthetischer Komponenten genutzt [97]. Da Pflanzenproteine einen intensiven, aber bitteren Geschmack haben, ist ihr Einsatz trotz idealer Funktionalität als Emulgatoren im Lebensmittelbereich schwierig [53]. Biomimetische Fasern aus Pflanzenproteinen könnten insbesondere zur Umhüllung von Medikamenten, im Lebensmittelbereich sowie zur

Gewebekonstruktion sinnvoll eingesetzt werden und bieten eine natürliche Alternative zu synthetischen Fasern [103].

## **2.4 Verwendung von Pflanzenöl als Nachwachsender Rohstoff**

Öle und Fette aus Pflanzen nehmen mit 32 % den Großteil der stofflichen Einsatzmenge Nachwachsender Rohstoffe ein. Dabei ist vor allem der Einsatz in der chemischen Industrie mit einem Anteil von 43 % am höchsten. In der gesamten energetischen Nutzung (Strom, Wärme, Kraftstoff) haben Pflanzenöle einen Anteil von 4 %, Rapsöl macht dabei 3 % aus. Wird nur Biokraftstoff betrachtet, so nehmen Pflanzenöle einen Anteil von 52 % ein [62]. Pflanzenöle waren bereits vor der Nutzung synthetischer und fossiler Rohstoffe die Grundlage für die Produktion von Lacken und Farben. Sie finden Verwendung als Lösemittel, Trägeröle, Weichmacher, oberflächenaktive Verbindungen und Bausteine des Polymerfilms [61]. Zudem sind sie ein Rohstoff für die Produktion von Seifen. Altspeiseöle lassen sich ebenfalls zur Seifenproduktion nutzen und erfüllen die gewünschten Ansprüche [166]. Darüber hinaus können Pflanzenöle als Alternative zu Mineralölprodukten für die Erzeugung von Schmierstoffen und Hydraulikölen verwendet werden. Sie weisen eine schnellere biologische Abbaubarkeit und somit ein geringeres Gefahrenpotenzial auf [64]. Über die Veresterung lässt sich Biodiesel herstellen [128]. Biodiesel wird in Deutschland überwiegend auf Basis von Rapsöl produziert. Sojaöl kann zwar ebenfalls als Rohstoff für Biodiesel dienen [72], machte aber im Jahr 2023 nur 15,7 % des verwendeten Öls aus [152]. Durch die Verwendung von Sojabohnen als Nachwachsender Rohstoff können der Verbrauch fossiler Energieträger und THG-Emissionen eingespart werden [86]. Das Öl der Sojabohne wird zudem für die Produktion von Schmierstoffen, Seifen und Lacken genutzt [69] [128]. Die durch ozonolytische Spaltung der ungesättigten Fettsäuren im Sojaöl entstehenden Rohstoffe können zur Herstellung von Polyester- und Polyamidharzen, zur Nutzung von Beschichtungen und Klebern, verwendet werden [61]. Saflor hat als Biodiesel-Rohstoff den Nachteil, dass sein Öl eine kurze oxidative Stabilität besitzt. Der Zusatz von Antioxidantien kann diesen Nachteil ausgleichen und macht ihn zu einem geeigneten Rohstoff für die Biodiesel-Produktion [117]. Das aus Saflor gewonnene Öl wird aufgrund passender Eigenschaften, z. B. Fettsäuremuster, Säurezahl (FFA) und Viskosität, als vielversprechende Quelle zur Herstellung von Biodiesel eingeschätzt [119] [122]. Biodiesel aus Saflor ist bezüglich Funktionalität, Performance im Motor und der entstehenden Emissionen mit gewöhnlichem Diesel vergleichbar [165]. Zusätzlich wurde gezeigt, dass Biodiesel aus Saflor-Öl im Vergleich zu konventionellem Biodiesel zu geringeren CO<sub>2</sub>-, CO- und NO<sub>x</sub>-Emissionen bei hoher Motorlast führt. Die Produktionskosten sind zwar höher, dennoch sollte er als sinnvolle Alternative zu Diesel angesehen werden [76]. Die Standards ASTM-D6751 und EN-14214 können eingehalten werden. Bezüglich Produktivität, Qualität und Potenzial kann er als Ersatz für gewöhnlichen Diesel aus fossilen Rohstoffen eingesetzt werden [53]. Darüber hinaus wird Saflor in der Textil- und Lebensmittelfärbung und in Kosmetika eingesetzt [128]. Seine Blütenköpfe finden in der Medizin aufgrund vieler Eigenschaften – darunter schmerzstillend, antibiotisch, abführend und cholesterinsenkend – Verwendung [20]. Das Hauptaugenmerk liegt allerdings auf der Nutzung des Öls,

das als Speiseöl sowie als technisches Öl in der Lack-, Farben- und Harzindustrie und als Brennöl für Öllampen eingesetzt werden kann [111] [74]. Saflor wird aufgrund des hohen Linolsäuregehalts zur Herstellung von Firnissen und Lacken verwendet [61]. Das Öl des Leindotters dient als Rohstoff für hochwertige Holzveredelungsprodukte. Die Leindotterkörner werden gepresst und zu Bindemitteln weiterverarbeitet. Damit dienen sie als Basis für Lasuren und Öle [49]. Leindotteröl wird zudem als Rohstoff für Biokerosin in der Luftfahrt genutzt [150]. Die Einsparung von THG-Emissionen beim Anbau und der Verwertung von Leindotter liegt unter optimalen Bedingungen bei über 60 % im Vergleich zu Petroleum-Treibstoff für Flugzeuge [127]. Hanföl wird überwiegend als Lebensmittel genutzt. Eine Verwendung als Lasur, Hautpflegeprodukt für Mensch und Tier oder als Schmierstoff ist ebenfalls möglich, meist aber unwirtschaftlich. Dieser Absatzweg wird für gewöhnlich nur gewählt, wenn das Öl nicht als Lebensmittel vermarktet werden kann, z. B. aufgrund erhöhter THC-Gehalte [131].

## 2.5 Misanbausysteme: Beispiele und Forschungsergebnisse

Als Misanbau, auch Mengenanbau oder Mischfruchtanbau genannt, wird die Kultivierung verschiedener Feldfrüchte auf einer Fläche in derselben Vegetationsperiode bezeichnet. Es existieren unterschiedliche Anbausysteme, die sich durch die Ausprägung der zeitlichen und räumlichen Trennung definieren [29]. Sind die Mengengepartner weder räumlich noch zeitlich stark getrennt, spricht man von gänzlich gemischten Mengen. Werden die Mengengepartner zu unterschiedlichen Zeitpunkten gesät, wird das Mengenge als Relay Cropping oder Staffelanbau bezeichnet. Der Streifenanbau dagegen zeichnet sich durch eine stärkere räumliche Trennung aus, in dem mehrere Saatzeilen einer Kultur als ganze Streifen auf Streifen einer anderen Kultur folgen. Zwischen diesen drei grundlegenden Mengentypen gibt es fließende Übergänge (Abbildung 1). Eine Zwischenform sind alternierende Reihen. Häufig werden unterschiedlichste Begriffe für die verschiedenen Systeme genutzt.

Misanbausysteme haben häufig Vorteile gegenüber einer Reinkultur: höhere Beikrautunterdrückung, geringere Einsatzmenge an Stickstoffdüngemitteln (falls Leguminosen verwendet werden), Stützfunktion, erhöhte Biodiversität und Minderung des Risikos eines Totalausfalls [65]. Ziel ist, eine gegenseitige Ergänzung und Unterstützung der Kulturen zu erreichen. Für die Wahl der Mischungspartner ist insbesondere ein gemeinsam möglicher Erntezeitpunkt entscheidend [55]. In Kulturen mit komplementärer Ressourcenverwendung funktioniert ein Misanbau besonders gut [144]. Unterschiede in den funktionellen Charakteristiken sind entscheidend für den Anbauerfolg. Nur durch Komplementarität können positive Effekte durch effiziente Ressourcennutzung erzielt werden [12]. So kann z. B. das Wasser in verschiedenen Bodenschichten durch gezielte Auswahl von Kulturen mit unterschiedlichem Wurzelsystem optimal genutzt werden. Die Konkurrenz wird dadurch reduziert.

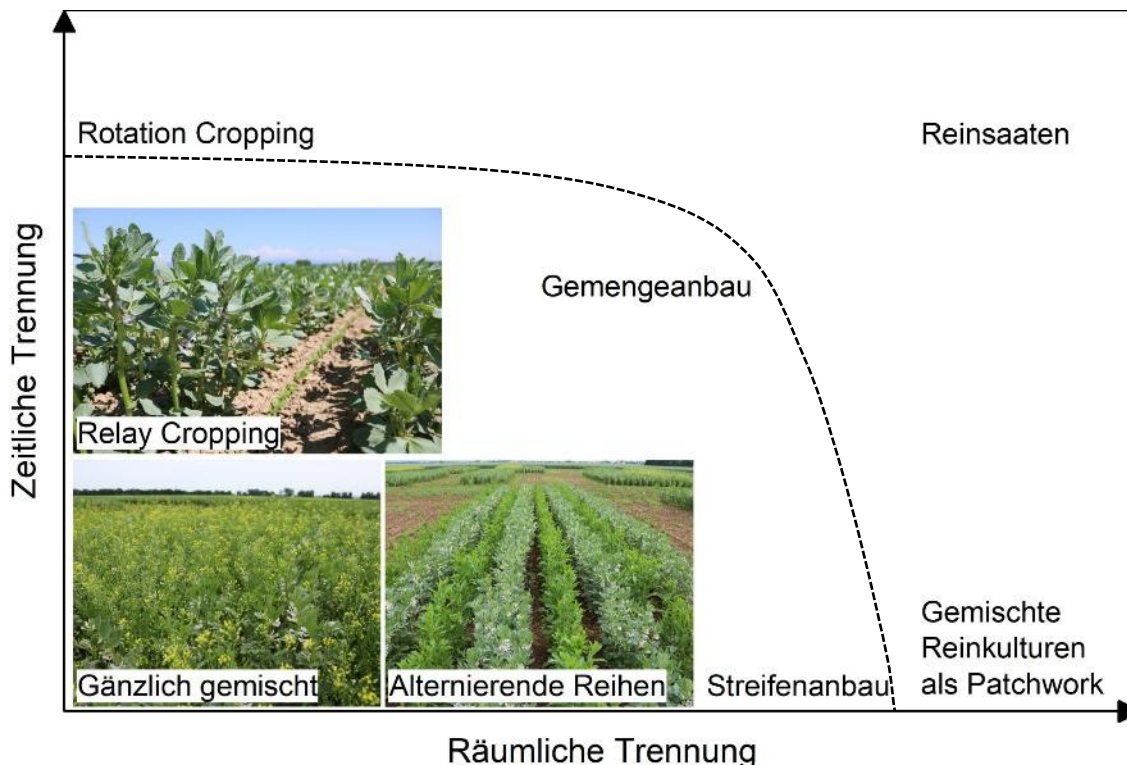


Abbildung 1: Mischanbau in verschiedenen Varianten der zeitlichen und räumlichen Trennung, geändert nach BROOKER et al. (2015) [29]

Der Anbau mehrerer Kulturpflanzen stellt höhere Anforderungen an die Saattechnik, insbesondere wenn die Partner unterschiedliche Samengrößen und ideale Ablagetiefen besitzen. Daher können häufig keine Saatgutmischungen verwendet werden. Es gibt die Möglichkeiten einer flächigen Aussaat oder Drillsaat in zweiter Überfahrt nach der ersten Saat. Dabei kann es zu Schwierigkeiten mit einer gleichmäßigen Ablage kommen. Weitere Möglichkeiten sind das Koppeln zweier Drillmaschinen hintereinander oder der Anbau mehrerer Saatkästen (Mehrtanksysteme). So ist nur ein Arbeitsgang erforderlich [123]. Allerdings wird dafür die entsprechende Technik benötigt bzw. fallen höhere Investitionskosten an. Probleme mit dem Beikrautmanagement aufgrund Inkompatibilität von Herbiziden bei mehreren Kulturarten und die erhöhte Komplexität der Saat und Ernte tragen maßgeblich dazu bei, dass Mischanbau nicht in die großflächige, mechanisierte Landwirtschaft eingezogen ist [56].

Eine klassische Anbauform des Mischanbaus ist ein Gemenge aus Getreide mit Leguminosen oder blühenden Untersaaten. Letztere führen zu einem Anstieg der Insektenpopulation und einer Einsparung von Kosten für Pflanzenschutz- und Düngemittel. Des Weiteren kann ein zusätzlicher Arbeitsgang zur Aussaat einer Zwischenfrucht entfallen. Allerdings kann sich trotzdem ein geringerer Deckungsbeitrag zeigen, der auf niedrigere Erntemengen zurückzuführen ist [32]. Häufig verwendet wird der Mix aus Getreide und Klee. Im Vergleich zur Monokultur wird eine Reduzierung des Beikrautdrucks erreicht [73]. Das Leguminosen-Getreide-Gemenge ist vorrangig im extensiven Ackerbau verbreitet, bietet aber auch im intensiveren Anbau einige Vorteile. In Versuchen wurde ein Mehrertrag des Getreidepartners, teilweise von bis zu 50 %, erreicht. Zurückzuführen war dies auf die



Veränderung in der Zusammensetzung der Bakterien- und Pilz-Gesellschaften und der dadurch erhöhten N-Assimilation [46]. Widersprüchlich Erfahrungen zum Erfolg des Misanbaus verdeutlichen die Komplexität dieses Anbausystems.

Typische Mischungen sind z. B. Körnererbse/Gerste, Futtererbse/Triticale, Ackerbohne/Hafer, Ackerbohne/Triticale oder Blaue Lupine/Hafer. Auch Mischungen von Hafer mit Linse, Soja oder Saatwicke sind möglich. Dabei ist meist ein Mischungsverhältnis von 80:40 in Prozent der Reinsaatstärke am erfolgreichsten [55]. Zudem ist der „Wickroggen“, ein Gemenge aus Roggen und Zottelwicke, für die Verwendung als Biogassubstrat mit guter Beikrautunterdrückung und ökologischen Vorteilen verbreitet [48]. Gerste wird als Gemengepartner in Ackerbohne genutzt, um die allelopathischen Effekte der Gerste auf Beikräuter zu nutzen. Der Misanbau war als Strategie zur Beikrautreduzierung im Ackerbohnenanbau erfolgreich [154]. Untersuchungen in Deutschland zeigten, dass der Misanbau von Weizen mit Ackerbohne im Vergleich zur Reinsaat, die entsprechend der üblichen Praxis bewirtschaftet wurde, die THG-Emissionen um 31 % reduzierte [143]. Allerdings bildete dieser Versuch nur ein Jahr ab, sodass die Resultate aufgrund des Witterungseinflusses wenig Aussagekraft besitzen. Durch den Misanbau von Ackerbohne mit Weizen wurden höhere Temperaturen und eine geringere relative Luftfeuchtigkeit im Pflanzenbestand beobachtet als in den Reinkulturen. Der Befall mit *Botrytis fabae* wurde reduziert. Der Ackerbohnenenertrag wurde erhöht. Es ergab sich eine höhere Flächeneffizienz (Land Equivalent Ratio [LER] = 1,28 bis 1,42) als in Reinsaat [80]. Die Düngung mit Stickstoff und Phosphor führte beim Anbau von Weizen mit Ackerbohne im Gemenge zu einem Ertragsanstieg des Weizens und einer Ertragsabnahme der Ackerbohne. Das LER von Weizen nahm mit zunehmender N-Gabe ab, während das LER von Ackerbohne mit zunehmender P-Gabe sank. Eine regulierte Gabe beider Nährstoffe zeigte allerdings eine Maximierung der ökonomischen und ökologischen Funktionen im Misanbau [162]. Langfristig war im Misanbau von Mais und Erbse eine Zunahme der Konzentration an organischem Kohlenstoff von 6,7 bis 12,4 % in der oberen Bodenschicht nachweisbar. Die Lagerungsdichte nahm um 6,4 bis 14,2 % ab. Ohne zusätzliche N-Düngung wurde eine Reduktion der Treibhausgasemissionen von 17,8 % pro Hektar bzw. 15,4 % pro Tonne Korn erzielt [164].

Es gibt viele weitere Beispiele für erfolgreichen Misanbau, auch mit dafür weniger üblichen Kulturen. So wurden z. B. die Kombinationen Ackerbohne/Kohl [144], Kichererbsen/Lein und Kichererbsen/Raps [57], Linsen/Saflor [3], Sonnenblume/Rotklee und Sonnenblume/Luzerne [11] sowie Ackerbohne/Weizen untersucht.[80]. Bei all diesen Kombinationen wurden positive Auswirkungen auf die Flächeneffizienz nachgewiesen. Durch eine Meta-Analyse wurde für das Gemenge von Mais mit Sojabohne eine weltweite durchschnittliche LER von 1,32 bestimmt. Dies bestätigt die hohe Flächeneffizienz des Anbausystems im Vergleich zur Reinsaat beider Kulturen. Im „Relay Intercropping“, also dem zeitlich versetzten Misanbau, war die Effektivität am höchsten. Das FNER (Fertilizer Nitrogen Equivalent Ratio) lag bei 1,44. Daraus lässt sich eine verbesserte Stickstoffeffizienz im Misanbau ableiten [163]. Ob eine Mischung insgesamt wirtschaftlicher ist, hängt insbesondere davon ab, ob eine kostengünstige Trennung des Ernteguts möglich ist [111]. Unter Trockenstress besteht hohe Konkurrenz um die Ressource Wasser.

Insbesondere bei empfindlichen Kulturen, z. B. Erbse, können so durch den Misanbau Erträge unter trockenen Bedingungen reduziert werden [67]. In Versuchen zur Kombination von Ackerbohne und Kohl wurde im Vergleich zur Reinkultur für Kohl ein Mehrertrag von 28 % erreicht, während der Ackerbohnen-Ertrag gleich blieb. Im Gemenge wurde eine bessere Flächen- und Stickstoffeffizienz erreicht. Zusätzlich erhöhten sich die Wurzelmasse und die Durchwurzelungsintensität der Ackerbohnen [144]. Im System von Kichererbse mit Lein oder Raps zeigte sich, dass der Misanbau die besten Vorteile im Vergleich zur Reinsaat, ausgedrückt als LER, in extensiver Bewirtschaftung (wenig Stickstoffdüngung und Fungizide) erreicht [57]. Ein erhöhter Beikrautdruck reduziert die Pflanzenhöhe, den Blattflächenindex, die Anzahl an Samenkapseln pro Pflanze, die Samenanzahl pro Samenkapsel und den Kornertrag von Saflor im Gemenge mit Linsen [3]. Für die Kombination mit Linsen wurde die höchste Produktivität ( $LER = 1,75$ ) bei einer Zusammensetzung von Saflor und Linsen mit 100 % bzw. 75 % der Reinsaatstärke bestimmt. Beikrautdicke und Trockenmasse wurden durch den Gemengeanbau im Vergleich zu den Reinkulturen reduziert, wodurch sich auch die Ertragswerte von Saflor verbesserten [3]. Bei Kombination von Sonnenblume mit Rotklee, Luzerne oder Saatwicke wurden je nach Sorte der Sonnenblume sowohl positive als auch negative Auswirkungen beobachtet. Für den Misanbau mit Saatwicke ergab sich ein  $LER < 1$ , während er für Rotklee und Luzerne darüber lag [11].

Nachfolgend wird gezielt auf Veröffentlichungen von Gemengen, die auch in diesem Projekt untersucht wurden, eingegangen.

### **Erbse mit Leindotter**

Über ein Projekt und die Initiative des Baufarbenherstellers DAW SE bauten landwirtschaftliche Betriebe Erbsen zusammen mit Leindotter im Gemenge an. Der Leindotter diente als Rohstoff für die Produktion von Holzveredelungsprodukten des Unternehmens. Vorrangiges Ziel dabei war es, die Biodiversität zu stärken und auf heimische und nachwachsende Rohstoffe zu setzen [49]. In alternierenden Reihen zeigte sich im Gemenge eine bessere Entwicklung als in gemischten Reihen. Dabei stieg der Ertrag von Leindotter an, während derjenige der Erbse leicht abnahm. Beim Gesamtertrag ließen sich keine Unterschiede zwischen alternierenden und gemischten Reihen feststellen. Insgesamt wurde allerdings durch das Gemenge Leindotter/Erbse ein höherer relativer Ertrag erreicht als in Reinsaat [125]. Auswirkungen des Mischungspartners Leguminose auf die Ölqualität von Leindotter wurden bisher nicht festgestellt [108].

In Reinkultur hat der Leindotter aufgrund seiner langsamen Jugendentwicklung eine geringe Beikrautunterdrückung [111]. Durch den Misanbau konnte das verbessert werden [124]. Beikräuter haben sich langsamer entwickelt und erreichten eine geringere Biomasse als in den Reinkulturen [116]. In einem Versuch mit Leindotter und Erbse im ökologischen Landbau in Italien fanden die Forschenden ebenfalls eine Reduktion des Beikrautvorkommens im Gemenge im Vergleich zur Reinsaat [121]. Es wird von einer Reduktion um 52 bis 65 % im Vergleich zur Reinsaat berichtet. Zusätzlich lag das LER über 1 und verdeutlichte somit einen Ertragsvorteil im Misanbau. Der Erbsenertrag unterschied sich dabei zwischen Reinkultur und Misanbau nicht [135].

In einem dreijährigen Versuch wurde im Vergleich zur Reinsaat ein Anstieg der Artenzahlen der Bestäuber festgestellt und somit der Beitrag zu einer erhöhten Biodiversität nachgewiesen [77]. Die Leindotter-Erträge wurden weder durch die gemeinsame Kultivierung mit Erbse noch durch die Verdoppelung der Leindotter-Saatstärke beeinflusst. Mit Gerste als Gemegepartner von Leindotter wurde dagegen aufgrund höherer Konkurrenzkraft des Getreides ein Ertragsrückgang des Leindotters festgestellt [100]. Soll Leindotter nur als Beisaat genutzt werden, kann die Konkurrenz mit der Hauptfrucht durch eine zeitlich versetzte Einsaat von Leindotter reduziert werden [22].

### **Erbse mit Saflor**

Diese Kombination wurde bisher nicht untersucht. Denkbar wäre auch die Nutzung der Blüten mit Ernte zur Verwendung der sekundären Inhaltsstoffe kurz vor Erbsendrusch.

### **Ackerbohne mit Leindotter**

In Versuchen zur Mischung Leindotter/Ackerbohne wurde im Gemenge im Vergleich zur Ackerbohnen-Reinsaat eine effektive Beikrautunterdrückung bestätigt [136].

### **Ackerbohne mit Saflor**

Im Misanbau von Ackerbohne und Saflor wurden eine stärkere horizontale Durchwurzelung und eine höhere Durchwurzelungsdichte im Unterboden festgestellt, die zu einer Reduzierung des pflanzenverfügbaren Stickstoffs führten. Der LER-N (accumulated nitrogen) war im Misanbau höher. Je nach Standort und Saatdichte wurden die einzelnen Erträge durch den Misanbau reduziert oder erhöht [141]. Bei einem Mischungsversuch von Saflor und Ackerbohne im Iran zeigte sich der höchste Ertrag bei reduzierter N-Düngung auf 60 % der üblichen Menge an Mineraldünger. Die Gemegeerträge waren höher als in Reinkultur. Saflor wird als konkurrenzfähiger beschrieben als die Ackerbohnen [134]. Der Misanbau von Ackerbohne und Saflor zeigte sich besonders unter Extremwetterbedingungen, in trockenen und heißen Jahren sowie kühlen Jahren mit vielen Niederschlägen, erfolgreich ( $LER > 1$ ). Allerdings herrschte trotz Misanbaus ein moderater Beikrautdruck. Außerdem können Extremwetterbedingungen die Abreife beeinflussen, wodurch es zu Problemen im gemeinsamen Erntezeitpunkt kommen kann [94]. Durch den Anbau von Ackerbohne zusammen mit Saflor wurde die Wurzeldichte im Unterboden verbessert. Die Menge fixierten Stickstoffs war aufgrund geringerer Saatstärke der Ackerbohne im Vergleich zur Reinsaat geringer. Der Standort beeinflusste, ob durch den Gemegeanbau ein höheres Ertragsniveau erreicht werden konnte. Im Überflutungsgebiet war der Saflor-Ertrag reduziert, da die Ackerbohnen unter diesen Bedingungen konkurrenzstärker waren. Auf dem Standort mit hoher N-Verfügbarkeit hingegen erlangte Saflor einen Vorteil gegenüber Ackerbohne [141].

**Sojabohne mit Leindotter**

In einem Versuch zum Mischanbau von Sojabohne mit Leindotter hat sich der Gemengeanbau im Vergleich zur Sojareinsaat besonders in Jahren mit geringen Sojabohnenerträgen erfolgreich gezeigt. Die vergleichsweise geringen Sojabohnenerträge wurden durch den Mischungspartner ausgeglichen [71]. In Luxembourg war das Gemenge aufgrund der trockenen Bedingungen nicht erfolgreich [130].

**Sojabohne mit Saflor**

In einem Versuch von Sojabohne und Saflor im Iran zeigten sich Vorteile des Mischanbaus im Vergleich zur Reinsaat. Saflor wuchs im Gemenge höher und hatte einen besseren Kornansatz sowie höhere Kornerträge. Zudem stieg die Kornmasse (TKM) der Sojabohnen. Das LER war größer eins [129], dies verdeutlicht den Erfolg des Mischanbaus von Saflor und Sojabohne unter dortigen Bedingungen. In einer anderen Untersuchung wurde die Bedeutung eines Dammanbausystems für den Mischanbau mit Sojabohne betont. So könne das starke vegetative Wachstum von Sojabohnen in Jahren mit hoher Niederschlagsmenge ausgeglichen werden. Der Sojabohnenertrag und der LER wurden dadurch verbessert [91]. Der Konkurrenzdruck auf den Gemengepartner durch die Sojabohne kann dadurch reduziert werden.

### 3 Problemstellung und Zielsetzung

Pflanzenöle und pflanzliche Proteine sind, neben ihrer hohen Bedeutung als Nahrungs- und Futtermittel, auch nachwachsende Rohstoffe. Die technische Verwendung von Pflanzenölen ist vielfältig. Allerdings werden sie in vielen Fällen in Verbindung gebracht mit globalem Handel, umwelt- und klimaschädlichen Anbaupraktiken oder intensivem Düng- und Pflanzenschutzmitteleinsatz für heimische Ölkulturen wie Raps. Wenig ertragreiche Ölpflanzen wie Leindotter oder Saflor haben häufig keine Anbauwürdigkeit. Proteinliefernde Kulturpflanzen hingegen sind für ihre extensiven Anbaumöglichkeiten bekannt, da sie sich aufgrund der Symbiose mit Rhizobakterien selbst mit dem nötigen Stickstoff versorgen können. Andererseits benötigen sie lange Anbaupausen in der Fruchtfolge und sind weniger ertragssicher als klassische Kulturen.

Mit dem europäischen Green Deal und seiner Farm-to-Fork-Strategie [59] sowie dem nationalen Klimaschutzgesetz [41] und der bayerischen Biodiversitätsstrategie wurden konkrete Ziele zur Senkung des Stickstoffmineraldünger- und des Pflanzenschutzmitteleinsatzes im Pflanzenbau politisch festgelegt. So soll entsprechend der Farm-to-Fork-Strategie der Einsatz von Mineraldüngern und chemischer Pflanzenschutzmittel (PSM) bis 2030 um 50 % reduziert werden. Im Mischanbau mit Leguminosen wird zumeist kein zusätzlicher Mineraldünger benötigt und der Einsatz von chemischen PSM ist mangels Indikation bzw. Verträglichkeit stark eingeschränkt. Somit hat der Mischanbau das Potenzial, maßgeblich zur Reduktion beider Betriebsmittel beizutragen. Auch die „Ackerbaustrategie 2035“ [40] des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat gibt Wege und Optionen vor, wie sich der Ackerbau, mit Blick auf den Klimawandel, bis 2035 entwickeln soll. Dafür wurden zwölf Punkte als Zielrichtung der jeweiligen Handlungsfelder genannt. Der Mischanbau mit Leguminosen könnte bei der Umsetzung fünf dieser Punkte eine wichtige Rolle spielen. Dazu gehören die Erhöhung der Kulturpflanzenvielfalt und die Erweiterung der Fruchtfolgen, die Verringerung von Nährstoffüberschüssen, die Reduktion unerwünschter Umweltwirkungen durch PSM, die Stärkung der Biodiversität in der Agrarlandschaft und die Entwicklung klimaangepasster Anbaukonzepte.

Beim Vergleich mehrerer Untersuchungen verteilt über alle Kontinente ließ sich feststellen, dass tendenziell höhere Erträge im Mischanbau erreicht wurden als in den Reinsaaten. Durch diese Zunahme ergab sich zusätzlich eine höhere Ertragsstabilität bei an den Standort angepassten Gemengen [159]. Zusammengefasst sind weitere Vorteile des Mischanbaus ein geringeres Anbaurisiko, bessere Standfestigkeit der Körnerleguminosen, bessere Beikrautunterdrückung und weniger Spätverunkrautung, effizientere Nutzung von Nährstoffen und ein entscheidender Beitrag zur Förderung der Biodiversität. Es entstehen allerdings auch Nachteile, weshalb sich viele Landwirte gegen einen Gemengeanbau entscheiden: geringere Proteinerträge der Leguminosen, Kompromisse bei Saatzeitpunkt und Ablagetiefe, Schwierigkeiten bei der Aussaat, z. B. Entmischung im Saatkasten, anspruchsvollere Einstellung des Mähdreschers, Wahl der Gemengepartner und ggf. erhöhte Kosten bei der Separierung für die weitere Verwertung [55]. In der Schweiz konnte die Anbaufläche von Erbsen durch die Bereitschaft zweier Sammelstellen, die Gemenge als Mischung annehmen, deutlich erhöht werden [55]. Der Mischanbau von Leguminosen

mit Ölfrüchten ist in Deutschland aktuell nicht weitverbreitet. Allerdings hat er das Potenzial, eine hohe Produktivität auch in mechanisierten, großflächigen Agrarsystemen zu erreichen. Dafür ist mehr Forschung unter hiesigen Klimabedingungen mit aussagekräftigen und validen Ergebnissen zu Auswirkungen auf Ökologie und Ökonomie notwendig, insbesondere in den Bereichen Kulturauswahl, umweltbedingte Beschränkungen, optimale räumliche Anordnung der Kulturen, Wachstum, Ressourcennutzung und Möglichkeiten zur Beikrautbekämpfung [56]. Manche sehen im Mischanbau von Leguminosen und Ölfrüchten durch nachhaltigen Anbau und simultane Produktion mehrerer Nährstoff-Gruppen eine Chance zur Sicherstellung der Nahrungsmittelversorgung. Zur Bewertung von Mischanbausystemen spielen insbesondere die Performance, die Ressourceneffizienz und die Flächeneffizienz eine Rolle [112]. Durch eine angemessene Sortenwahl kann die Produktivität von Mischanbausystemen verbessert werden. So können sowohl Ertrags- als auch Qualitätseigenschaften erreicht werden, die denen einer Reinkultur entsprechen [113]. Für die optimale Anpassung an ein Mischanbausystem ist die Wahl des Genotyps bzw. der Sorte bedeutend [110]. Eine spezielle an den Mischanbau angepasste Züchtung könnte die Effizienz dieses Verfahren weiter erhöhen. Auch wenn durch den Gemengeanbau gewöhnlich ein etwas geringerer absoluter Ertrag generiert wird als im Reinanbau können Mischanbausysteme insgesamt als grundsätzlich erfolgsversprechend angesehen werden, da deren Flächennutzung bei geeigneter Partnerwahl effizienter gestaltet werden kann. Die simultane Produktion mehrerer Rohstoffe ist möglich, die Widerstandsfähigkeit der Pflanzen wird erhöht, Ökosystemfunktionen werden gefördert und die Nährstoffeffizienz wird verbessert. Mischanbausysteme könnten im Wandel hin zu einem nachhaltigeren, flächeneffizienten Pflanzenbau eine Rolle spielen [102].

Im vorliegenden Projekt „Mischanbau zur Produktion von Pflanzenölen und -proteinen als Nachwachsende Rohstoffe (MixNawaRo)“ sollen die Vorteile beider Kulturpflanzengattungen durch Mischanbauformen ausgenutzt und mögliche Nachteile ausgeglichen werden. Ziel ist es, Kombinationen von Ölpflanzen und Leguminosen zu erarbeiten und zu optimieren, die einen gleichzeitigen Drusch erlauben. Damit können auf einem Feld zwei unterschiedlich einsetzbare Rohstoffe produziert werden. So kann die Landwirtschaft notwendige Rohstoffe regional erzeugen und durch den Mischanbau als Anpassung an den Klimawandel das Anbaurisiko reduziert werden. Eine Auflockerung der Fruchtfolge sowie eine Etablierung neuer Wertschöpfungsketten scheinen dadurch erreichbar. Da für den Mischanbau üblicherweise keine PSM-Indikation besteht und der Düngebedarf durch den Leguminosenanteil reduziert ist, gelten diese Anbauformen als per se extensiv. Besonders mit Blick auf nationale und europäische agrarpolitische Ziele kann der Mischanbau einen wertvollen Beitrag zur Reduktion des Dünge- und Pflanzenschutzmitteleinsatzes und damit zur Einhaltung der Klimaschutz- und Biodiversitätsziele liefern. Im Vergleich zum Reinanbau der Kulturen sollen Erträge, Qualitäten und Treibhausgasbilanzen überprüft werden, um die Effektivität dieser Anbausysteme zu bewerten.

Während der Projektlaufzeit werden in jeder Saison parallel Versuche mit verschiedenen Artenkombinationen und Mischanbauformen durchgeführt. Geplant sind Versuche mit alternierenden oder gemischten Reihen von Ackerbohnen, Erbsen und Sojabohnen mit Safflor, Leindotter oder Körnerhanf. Diese Basisversuche werden ergänzt durch Testanbauten

mit den Winterformen der Kulturen sowie mit Kombinationen, in denen weitere Mischungspartner für eine stärkere Bodenbedeckung, Beikrautunterdrückung und/oder ein verlängertes Blütenangebot hinzugefügt werden. Im Detail sollen Fragen zu geeigneten Mischungspartnern, produktionstechnische Fragestellungen sowie Aussaatstärken, Sorten, Aussaatterminen, Vorzüglichkeit zum Reinanbau in Bezug auf Ertrag, Flächeneffizienz, Qualität, Arbeitsaufwand geklärt werden. Zudem soll eine ökologische Bewertung erfolgen.





## 4 Material und Methoden

### 4.1 Standortbedingungen

Die jährlich wechselnden Versuchsstandorte befinden sich zwischen Straubing, Ittling und Aiterhofen und liegen zwischen 331 und 338 m ü. NN. Die Flächen gehören zur Landschaftseinheit des Gäubodens und zeichnen sich durch besonders fruchtbare Böden aus. Der Boden lässt sich als Parabraunerde aus Löss mit 76 bis 84 Bodenknoten beschreiben. Der Oberboden hat überwiegend die Bodenart schluffiger (uL) bis toniger Lehm (tL). Am Standort lag die Niederschlagssumme im durchschnittlichen Mittel von 1991–2020 bei 684,4 mm und die Jahresdurchschnittstemperatur bei 9,2 °C [50]. Die jährliche Globalstrahlung beträgt durchschnittlich 1179,0 kW/m<sup>2</sup> und es werden 227 Vegetationstage erreicht. Um möglichst einheitliche Bedingungen auf der Versuchsfläche zu gewährleisten, rotieren die Schläge und werden über drei Jahre einheitlich durch einen Praxisbetrieb bewirtschaftet. Daher wurden die Versuche jedes Jahr auf einer anderen Fläche etabliert. 2023 befanden sich alle Versuche am Standort „Auf der Platte“. Die Fläche mit den Sojabohnen-Versuchen wurden aufgrund der späteren Aussaat separat beprobt (Tabelle 1). Im Jahr 2024 mussten die Versuche aufgeteilt werden: Am Standort „Die Frei“ standen der Versuch zum Saattermin, die Reihenversuche, Sortenversuche und Saatstärkenversuche, jeweils mit Erbse und Ackerbohne, sowie der Versuch mit den Reinsaaten zur Kontrolle. Auf dem „Brunnenfeld West“ waren alle Sojabohnen-Versuche, Hanf und Sojabohne als Reinsaat sowie Versuche zu Gemengen mit drei Partnern bzw. gleichen Ablagetiefen aller Gemengepartner platziert. Im Jahr 2025 lagen alle Versuche mit Erbse und Ackerbohne auf dem „Kreuzacker“. Alle Versuche mit Sojabohne standen am „Brunnenfeld Ost“. Im Mischanbau wurde bei erfolgreicher Ausbildung der Rhizobakterien keine Stickstoffdüngung durchgeführt, da sich diese nachteilig auf die Ausbildung und Aktivität der Knöllchenbakterien auswirken kann [15] [14] [16].

**Tabelle 1:** Versuchsflächen und Nährstoffgehalte im Boden zur Aussaat im Frühjahr (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O und MgO in mg/100g Boden, n. e. = nicht ermittelt)

Anbaujahr		2023		2024		2025	
Fläche		Auf der Platte		Die Frei	Brunnenfeld West	Kreuzacker	Brunnenfeld Ost
N <sub>min</sub>	kg N/ha	51	36	46	101	69	19
S <sub>min</sub>	kg S/ha	n. e.	n. e.	n. e.	n. e.	110	82
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/100 g	11,0	7,0	13,0	12,0	7,0	7,0
K <sub>2</sub> O	mg/100 g	23,0	26,0	24,0	20,0	15,0	15,0
MgO	mg/100 g	14,7	13,0	15,4	13,4	19,2	17,9
pH-Wert		7,2	6,8	6,8	6,9	6,4	6,5

Die Winterackerbohnen und Wintererbsen mit Winterraps als Gemengepartner wurden im Herbst 2023 auf dem „Lehnerfeld“ gesät. 2024 wurde ein Versuch mit Winterackerbohnen auf dem „Kreuzacker“ gesät. Die Nährstoffgehalte sind in Tabelle 2 angegeben.

*Tabelle 2: Nährstoffgehalte im Boden zur Aussaat im Herbst 2023 und 2024 (n. e. = nicht ermittelt)*

Anbaujahr		2023/2024	2024/2025
Fläche		Lehnerfeld	Kreuzacker
N <sub>min</sub>	kg N/ha	95	85
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/100 g	19	7,0
K <sub>2</sub> O	mg/100 g	13	13,0
Mg	mg/100 g	20,0	19,1
pH-Wert	-	6,6	6,4

Die monatliche Durchschnittstemperatur verlief in allen Versuchsjahren ähnlich und zeichnete sich im Vergleich zum langjährigen Mittel von 1991 bis 2020 durch etwas höhere Werte aus (Abbildung 2). Auffällig waren im Jahr 2025 die im Vergleich zu den ersten beiden Versuchsjahren niedrigeren Temperaturen im Juli und August. Im Jahr 2024 waren dagegen die Monate Februar und März wärmer. 2023 waren die Niederschlagssummen in den Monaten Februar bis April höher als in den anderen Versuchsjahren. Dies hatte eine Verzögerung der Aussaat zur Folge. Im Mai 2024 kam es zu andauernden Niederschlägen. Dadurch waren Teile der Versuche für mehrere Tage überschwemmt. Tendenziell zeigten sich von März bis Juni geringere Niederschlagssummen als im langjährigen Mittel. Insbesondere im Frühsommer 2025 kam es zu langen Trockenperioden, die sich auf das Pflanzenwachstum auswirkten (vgl. 5.1). Hohe Niederschläge im Erntezeitraum können zu Problemen führen, dies wurde vor allem im August und September 2024 deutlich.

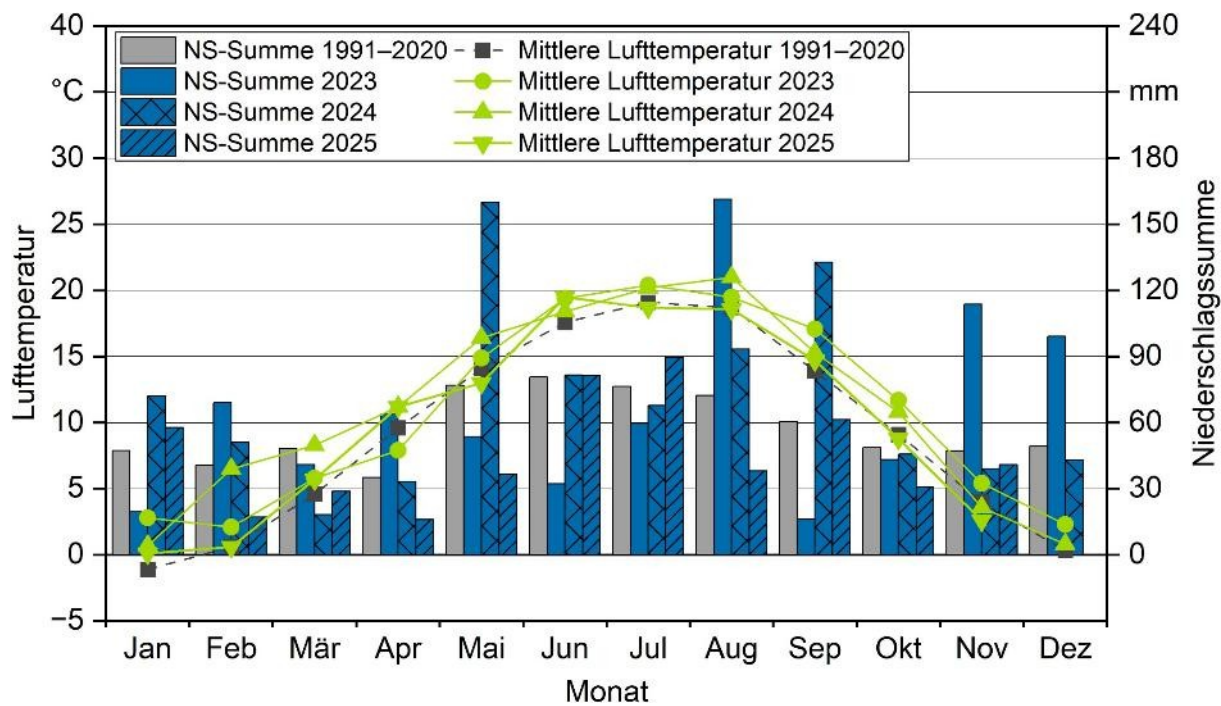


Abbildung 2: Witterungsdaten der Jahre 2023 bis 2025 [18] und langjähriges Mittel [50]

In der gesamten Vegetationszeit von März bis September wurden 2023 eine Niederschlagssumme von 428 mm, im Jahr 2024 588 mm und im Jahr 2025 352 mm erreicht. Von Bedeutung für den Anbauerfolg von Leguminosen bzw. Ölfrüchten ist allerdings insbesondere die Verteilung der Niederschläge. Daher werden im Folgenden die Niederschlagssummen der entscheidenden Entwicklungsschritte Blüte und Kornfüllung, die aus Fruchtentwicklung, Frucht- und Samenreife besteht, dargestellt (Tabelle 3). Detaillierte Auswirkungen der Witterung auf die Versuchsergebnisse werden im Ergebnisteil (vgl.5.1) diskutiert.

Tabelle 3: Verteilung der Niederschlagssumme (NS-Summe) auf die Entwicklungsschritte (BBCH) Blüte und Kornfüllung von Erbse, Ackerbohne und Sojabohne in den Jahren 2024 und 2025

Jahr		2024	2025
Leguminose	BBCH	NS-Summe in mm	NS-Summe in mm
Erbse	60–69	43	37
	71–89	95	145
Ackerbohne	60–69	76	40
	71–89	98	149
Sojabohne	60–69	43	34
	71–89	186	150

## 4.2 Wahl der Gemengepartner

In den Versuchen wurde stets eine Leguminose mit einer Ölpflanze kombiniert. Für die Wahl der Leguminosen wurden die in Bayern üblichsten Leguminosen – Erbse, Ackerbohne und Sojabohne – angebaut. Als Gemengepartner wurden Ölfrüchte gewählt, die eher extensiv angebaut werden können. So sollte sichergestellt werden, dass sie sich auch im Gemenge, das weder gedüngt noch mit Pflanzenschutzmittel behandelt wurde, mit den Leguminosen erfolgreich etablieren können. Die Wahl fiel auf Leindotter und Saflor. Beide Kulturen sind trockentolerant und sollen auch unter für die Leguminose ungünstigen Witterungsbedingungen einen Ertrag generieren und so mögliche Mindererträge der Leguminose ausgleichen können. Körnerhanf wurde in den ersten beiden Jahren ebenfalls als Gemengepartner getestet. Ziel war es herauszufinden, ob er sich trotz seines höheren Stickstoffbedarfs zu Vegetationsbeginn [58] und zu diesem Zeitpunkt noch keiner bzw. geringer Stickstofffixierung durch die Knöllchenbakterien ohne zusätzliche N-Düngung ausreichend entwickelt. Hanf ist keine Kultur, die typischerweise im Mischanbau eingesetzt wird. Durch den stabilen Stängel und die hohe Verzweigung bestimmter Sorten könnte er allerdings eine Stützfunktion, z. B. für Erbsenpflanzen, bieten.

In einem weiteren Versuch zur gemischten Saat in einer Überfahrt bzw. mit drei Gemengepartnern wurden zusätzlich Weißklee und Phacelia zur Bodendeckung und als blühende Bei-/Untersaat eingesetzt. Die Nutzung von Sommerraps wurde mangels Anbauempfehlung in Bayern wegen häufigen Totalausfalls bedingt durch den Rapsglanzkäfer [17] ausgeschlossen. Als Kontrolle diente der Anbau aller Kulturen in Reinsaat (vgl. 4.3.4).

Für eine gemeinsame Saat im Herbst kam nur Winterraps als Ölfrucht infrage. Er wurde mit Winterackerbohne und Winterfuttererbse kombiniert. Im zweiten Versuchsjahr wurde Winterackerbohne im Herbst und die Ölfrüchte Leindotter und Saflor im Frühjahr als Beisaaten an die bereits bestehende Ackerbohnen-Reihe gesät. Zusätzlich wurde die Eignung einer Herbstsaat mit den Kulturen Leindotter und Saflor getestet.

In vor dem Projektzeitraum erfolgten Tastversuchen im Jahr 2022 hatte sich gezeigt, dass die Kombination von Futtererbse und Saflor Schwierigkeiten beim Drusch verursachte und Körner beschädigt wurden. Des Weiteren ist eine saubere Trennung aufgrund geringer Größenunterschiede anspruchsvoller. Daher wurde die Häufigkeit dieser Kombination reduziert und lediglich im Reihenversuch untersucht. Die Mischung von Sojabohnen und Körnerhanf würde zwar bezüglich des optimalen Saattermins theoretisch passen, allerdings werden Sojabohnen mit einem tiefen Schnitt bodennah geerntet. Um das Risiko für Verwicklungen durch den faserigen Stängel bei der Ernte zu reduzieren, wird Hanf hingegen möglichst hoch gedroschen. Diese Kombination wurde daher nur im Jahr 2024 im Reihenversuch Sojabohne/Körnerhanf getestet, um zu untersuchen, ob die unterschiedlichen Schnitthöhen bei der Ernte tatsächlich ein Problem darstellen.

### 4.3 Versuchsdesign und Bestandsführung

In der dreijährigen Projektlaufzeit wurde für die Körnerleguminosen jährlich ein Versuch mit unterschiedlichen Reihenabständen und Kulturverteilungen, ein Versuch mit unterschiedlichen Sorten der Leguminose, ein Versuch mit Variation in der Saatstärke beider Partner, ein Versuch zum Aussaattermin und als Kontrolle ein Versuch mit allen Kulturen als Reinsaat in verschiedenen Intensitätsstufen angelegt. Des Weiteren wurden in einem Versuch Kombinationen mit drei Gemengepartnern getestet. Ab dem zweiten Versuchsjahr wurde dieser Versuch um Kombinationen mit nur zwei Kulturen, die ebenfalls vollständig gemischt und in gleicher Ablagetiefe und in einer Überfahrt gesät wurden, ergänzt. Zusätzlich fand 2023 ein Versuch zur Aussaatstärke von Winterraps mit Winterackerbohne oder Wintererbse und 2024 ein Versuch zur Winterackerbohne mit Beisaat der Ölfrüchte im Frühjahr statt.

In den Reihenversuchen und den Versuchen zur Reinkultur wurden im Jahr 2023 Dreifachparzellen etabliert. Diese hatten eine Länge von 10,2 m und eine Breite von 4,5 m. Die Gesamtfläche pro Parzelle lag bei 45,9 m<sup>2</sup>. Die Kernparzelle wies eine Länge von 7,6 m und eine Breite von 1,5 m auf, wodurch eine Fläche von 11,4 m<sup>2</sup> geerntet wurde. Die Randparzellen links und rechts der Kernparzelle verhindern zusammen mit den Stirnrändern den Einfluss von Randeffekten auf die Kernparzelle. In den restlichen Versuchen wurden Doppelparzellen angelegt. Diese waren inkl. Stirnrand und Randparzellen 10,2 m lang und 3 m breit und umfassten somit eine Fläche von 30,6 m<sup>2</sup>. Die Kernparzelle hat bei einer Länge von 7,6 m und einer Breite von 1,5 m eine Fläche von 11,4 m<sup>2</sup>. Im zweiten und dritten Versuchsjahr erfolgte die Anlage aller Versuche in Doppelparzellen. Der linke und der rechte Seitenrand betrugen jeweils eine halbe Säbreite.

Vor der Anlage der einzelnen Versuche wurde die jeweilige Fläche für den Versuch vorbereitet. Im Herbst 2022 fand im September nach Winterweizen eine Herbstfurche statt und eine Zwischenfruchtmischung (Terra Life N-Fixx, Deutsche Saatveredelung AG) wurde ausgesät. Die Fläche wurde am 27.02.2023 bei Frost erstmals gegrubbert und anschließend, um die Fläche einzuebnen, flach gekreiselt. Nachfolgend fanden weitere Überfahrten zur Beikrautregulierung mit dem Flachgrubber in 7 cm Tiefe statt (Tabelle 4). 2024 wurde ebenfalls im Herbst nach Silomais gepflügt. Eine Zwischenfrucht wurde nicht ausgesät. Die Saatbettbereitung erfolgte jeweils kurz vor der Aussaat in einer Tiefe von 3 bis 4 cm. Auf der Fläche für die Winterungen 2023 stand zuvor Silomais, der Mitte August frühzeitig gehäckselt wurde. Im Anschluss wurde die Fläche gegrubbert, gepflügt und gekreiselt. Die Leguminosen wurden zwei Wochen nach dem Winterraps gesät. Im Herbst 2024 wurde Winterroggen als Vorfrucht eingesät und, sobald der Boden im Frühjahr 2025 befahrbar war, gefräst. Es folgte eine Bearbeitung mit dem Grubber und anschließend mit der Kreiselegge.

**Tabelle 4:** Produktionstechnische Maßnahmen in den Feldversuchen (Angaben in Klammern: 1 = Fläche 1, 2 = Fläche 2, EF = Erbse, BA = Ackerbohne, SJ = Sojabohne)

Maßnahme	Datum		
	2023	2024	2025
Fläche 1	Auf der Platte (EF, BA)	Die Frei (EF, BA)	Kreuzacker (EF, BA)
Fläche 2	Auf der Platte (SJ)	Brunnenfeld (SJ, vereinzelt EF und BA)	Brunnenfeld (SJ)
Vorfrucht	Winterweizen	Körnermais (1) Silomais (2)	Sommergetreide
Herbstfurche nach Vorfrucht mit anschließendem Kreisel	06.09.22	26.10.23	n. e.
Zwischenfrucht	Mischung	-	Winterroggen
Fräsen	-	-	08.03.25 (1) 07.04.25 (2)
Grubbern	27.02.23	11.03.24	19.03.25 (1)
	22.03.23 (1)	19.03.24 (2)	16.04.25 (2)
	02.05.23 (2)	15.05.24 (2)	
Kreisel	07.03.23	15.03.24 (1)	20.03.25 (1)
	22.03.23 (1)	20.03.24 (1)	23.04.25 (2)
	19.05.23 (2)	05.04.24 (1)	
		15.05.24 (2)	
Aussaat	09.05.23 (Saatstärken- und Sortenversuche)	08/09.04.24 (EF, BA) 14/15.05.24 (SJ)	20/21.03.25 (1) 23.04.25 (2)
	20/21.05.23 (Reihen- und Rein- saatenversuche)		
Schwefeldüngung	09.05.23	-	-
Hacken	04.07.23	15.05.24 (1)	22.04.25 (1)
		16.05.24 (2)	04.06.25 (2)
		08.06.24 (2)	
Handhacke	-	12.06.24 (2)	21.05.25 (1)
		26.06.24 (2)	Mitte Juni (1, 2)

Um die Ergebnisse der einzelnen Versuche und Jahre vergleichen zu können, wurde ein Anbaustandard festgelegt. Dieser beschreibt die durchzuführende Produktionstechnik für alle Versuche, solange sie nicht Gegenstand der Versuchsfrage ist. So wurden Reihenabstände, Sorten, Saatstärken und Aussaattermine für alle Kombinationen bestimmt (Tabelle 5). Alle Saatstärken werden in keimfähigen Körnern pro Quadratmeter (Kö/m<sup>2</sup>)

angegeben. Die Gemenge wurden gemischt oder alternierend gesät (Abbildung 3). Die Reihenverteilung „gemischt“ bedeutet eine Ausbringung des vorab gemischten Saatguts beider Kulturen in einer Überfahrt. Im zweiten Versuchsjahr wurden die Kulturen in zwei Überfahrten in dieselbe Reihe, allerdings mit der für die jeweilige Kultur optimalen Ablagetiefe, gesät. In Variante „alternierend“ wurden die beiden Kulturen getrennt in zwei Überfahrten (2023) oder in einer Überfahrt mit zwei Saatgutbehältern (2024, 2025) in abwechselnden Reihen nebeneinander gesät. Der Aussaattermin 1 entspricht dem frühestmöglichen Saattermin für die Aussaat von Ackerbohne und Erbse ab März.

*Tabelle 5: Produktionstechnische Daten für den Anbaustandard*

	Ölpflanzen			Leguminosen		
Kultur	Leindotter	Hanf	Saflor	Ackerbohne	Erbse	Sojabohne
Reihenverteilung	Gemischt	Alternierend	Alternierend	Entsprechend Ölfrüchte im Gemenge		
Saattiefe in cm						
Reinkultur	1–2	3	3	4	4	3–4
Gemenge 2023	3	3	3	3	3	3
Gemenge 2024	1–2	2–3	2–3	6	4	2–3
Gemenge 2025	1–2	2–3	2–3	6	4	2–3
Sorte	Ligena	Calin	FINOLA	Birgit*	Astronauta	ES Comandor
Saatstärke in Kö/m²						
Reinsaat	400	75	100	45	80	70
Gemenge	200	50	75	35	60	53

\* Ackerbohnsorte 2023: Tiffany





Abbildung 3: Gänzlich gemischte Saat von Erbse/Leindotter (oben) und alternierende Saat von Ackerbohne/Safflor (unten)

Vor der Aussaat muss das Sojabohnensaatgut mit dem Bakterium *Bradyrhizobium japonicum*, das sich von Natur aus nicht in hiesigen Böden befindet, geimpft werden. 2023 und 2025 wurden dazu 300 ml „Rizoliq Top S“ mit 100 ml Premax (UPL Deutschland GmbH) entsprechend für 1 ha Saatgut vermengt und die bereits vorbereiteten Saatgutportionen einzeln gleichmäßig benetzt. Den Portionen wurde Sojaschrot hinzugefügt, um einerseits einer Entmischung des Saatguts während der Aussaat vorzubeugen und andererseits ein Verkleben des geimpften Sojasaatguts zu verhindern. Im Jahr 2024 fand die Saatgutimpfung mit dem Mittel „Histick Soy“ (BASF) statt, das die gleiche Effektivität aufweist wie „Rizoliq Top S“ [24].

Die Aussaat wurde mit Sämaschinen der Firma Wintersteiger mit einer Arbeitsbreite von 1,5 m (PlotMotion) in den Versuchen mit Dreifachparzellen und von 3,0 m (Vario) in den Versuchen mit Doppelparzellen durchgeführt. Um die Saat zu vereinfachen, wurde als Saattiefe im ersten Versuchsjahr für alle Gemenge eine gemeinsame Ablagetiefe von 2 bis 3 cm festgelegt. Die Varianten mit Leindotter in flächiger Aussaat wurden mit einem Parzellendüngerstreuer gesät. Unter den schwierigen Bedingungen im Jahr 2023 trug die suboptimale Ablagetiefe zu einem geringen und ungleichmäßigen Feldaufgang bei. Daher wurden im zweiten und dritten Versuchsjahr beide Kulturen in der jeweils für sie optimalen Saattiefe abgelegt. Leindotter wurde dabei flach auf die bereits gesäte Leguminose gesät.

Einzelne Varianten im Reinsaatversuch wurden mittels Parzellendüngerstreuer mit Kalkammonsalpeter (KAS) auf eine Gesamtmenge von 120 kg N/ha inkl.  $N_{\min}$  aufgedüngt. Am



Tag der Aussaat fand 2023 eine einheitliche Schwefeldüngung mit 77 kg S/ha und 2 kg B/ha (77 % Elementarschwefel + 2 % Bor) statt. Die Nährstoffgehalte des Bodens befanden sich überwiegend in der Gehaltsstufe C (Tabelle 1). Im Jahr 2025 lag die Phosphorversorgung in der Gehaltsstufe B. Aufgrund des hohen  $S_{\min}$ -Gehalts war keine zusätzlich Schwefeldüngung nötig. In den Versuchen mit Winterackerbohne und Wintererbse war 2023 aufgrund des hohen  $N_{\min}$ -Gehalts (Tabelle 4) eine zusätzliche Stickstoffdüngung weder nötig noch zulässig. Der  $S_{\min}$ -Gehalt war mit 103 kg S/ha ebenfalls hoch. Für die Versuche, die im Herbst 2024 gesät wurden, kam aufgrund alleiniger Leguminosen-Saat keine N-Düngung infrage. Die Gehalte an  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  und Mg lagen in beiden Versuchsjahren in der Gehaltsstufe C und damit im optimalen Bereich (Tabelle 2).

Als Hackgerät diente eine Hacke der Firma Rau mit einer Arbeitsbreite von 1,5 m. Aufgrund der Verunkrautung mit Gräsern wurde am 12.06.2023 auf der gesamten Versuchsfläche das Graminizid „Focus Ultra“ (Wirkstoff: Cycloxydim) mit einer Aufwandmenge von 1 l/ha appliziert. Für das zweite und dritte Versuchsjahr wurde der Reihenabstand von 16 cm auf 37,5 cm angehoben, um in allen Versuchen die mechanische Beikrautregulierung mit der Hacke zu ermöglichen. Im Jahr 2025 wurde Durchwuchs der Zwischenfrucht Roggen festgestellt und am 14.05.2025 mit „Fusilade Max“ (Wirkstoff: Fluazifop-P-butyl) behandelt.

Soweit möglich wurde mit einem Parzellenmähdrescher der Firma Haldrup (MT 1067) mit konventionellem Getreideschneidwerk geerntet. Nach der Ernte lag das Erntegut als ein Gemisch aus Leguminose und Ölpflanze vor. Dieses wurde bei 40 °C auf der Biomasse-trocknung getrocknet, um es anschließend zu reinigen, zu trennen und die Anteile der unterschiedlichen Kulturen zu bestimmen. Zur Beurteilung des Trockensubstanz-Gehalts (TS-Gehalt) wurden zu verschiedenen Zeitpunkten TS-Proben gezogen und im Trockenschrank bei 105 °C getrocknet (vgl. 4.4.5).

### **4.3.1 Versuche mit Erbse**

#### **4.3.1.1 Sortenversuch**

Im Sortenversuch wurde die Eignung verschiedener Erbsensorten im Gemenge mit Leindotter untersucht. Eine Übersicht über die gewählten Sorten und deren Eigenschaften gibt Tabelle 6. Das Hauptaugenmerk bei der Auswahl der Sorten lag auf der Hülsenfestigkeit sowie der Einstufung zum Rohproteintrag nach Bundessortenamt (BSA). Zudem wurden Sorten gewählt, die laut Bayerischer Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) für den Anbau in Niederbayern empfohlen werden [19]. Die empfohlenen Sorten unterscheiden sich in den wichtigsten Sortenmerkmalen kaum. Die Aussaat erfolgte entsprechend dem Anbaustandard (Tabelle 5).

**Tabelle 6:** Übersicht über die Sorteneigenschaften der angebauten Erbsen nach Einschätzung durch das BSA im Jahr 2023 [43] und 2025 [44]; Tausend-kornmasse (TKM) bestimmt durch TFZ

Jahr	Sorte	TKM (Saatgut) in g	Reife	Wuchs- höhe	Lager- neigung	Rohprotein- ertrag
2023	Astronaute	223	3	6	3	9
2023	Salamanca	253	4	7	1	6
2023	Respect	255	4	7	1	6
2024, 2025	Astronaute	258	4	6	3	9
2024, 2025	Orchestra	297	4	6	3	9
2024, 2025	Symbios	247	4	6	3	9

#### 4.3.1.2 Saatstärkenversuch

Im Gemenge Erbse/Leindotter wurden verschiedene Saatstärken beider Gemengepartner kombiniert und getestet (Tabelle 7). Im Jahr 2025 wurde Faktor 1 um die dritte Stufe (40 Kö/m<sup>2</sup> Erbsen) reduziert. Die höchste Saatstärke entspricht jeweils der Reinsaatstärke (100 % RS). Die Abstufungen sind sowohl in Kö/m<sup>2</sup> als auch im Verhältnis zur Reinsaatstärke angegeben. Die Kombination der Faktorstufe 2 beider Faktoren spiegelt den Anbaustandard (Tabelle 5) wider. Ziel dieses Versuchs war es, das optimale Verhältnis der beiden Gemengepartner zueinander zu finden und zu prüfen, ab welcher Pflanzendichte es zur Unterdrückung eines Partners kommt.

**Tabelle 7:** Varianten im Saatstärkenversuch Erbse/Leindotter

Faktor 1: Saatstärke Erbse		Faktor 2: Saatstärke Leindotter	
Kö/m <sup>2</sup>	% Reinsaatstärke	Kö/m <sup>2</sup>	% Reinsaatstärke
80	100	400	100
60	75	200	50
40	50	100	25

#### 4.3.1.3 Reihenversuch

Im Reihenversuch wurden unterschiedliche Reihenabstände und Gemengepartner untersucht. Der Faktor 1 beschreibt die Art der Ölpflanze, die jeweils in verschiedenen Reihenverteilungen (Faktor 2) mit der Erbse angebaut wurde. Es wurde in weitem (37,5 cm) oder engem Reihenabstand (16 cm) gesät. In den Varianten mit weitem Reihenabstand wurde ein Hackgerät zur Beikrautregulierung eingesetzt. Im ersten Versuchsjahr wurden zwei Varianten (Faktor 1, Stufe 4 und 5) mit Leindotter in flächiger Saat angesetzt (Tabelle 8). Im zweiten Jahr wurden die Versuche reduziert und der zweite Faktor ausschließlich auf verschiedene Reihenabstände beschränkt. Dadurch ergaben sich nur noch zwei

Faktorstufen des zweiten Faktors. Die Kombinationen mit Saflor und Körnerhanf wurden entsprechend dem Anbaustandard (Tabelle 5) alternierend und die Varianten mit Leindotter gemischt ausgesät. Im dritten Jahr wurde auf Körnerhanf als Gemengepartner (Stufe 3) verzichtet und ausgewählte Varianten aus dem Versuch mit drei Gemengepartnern bzw. gemischter Saat in den Reihenversuch (vgl. 4.3.5.2) als Stufen 4 und 5 des ersten Faktors integriert. Neben den üblichen Varianten mit Leindotter und Saflor wurde eine Variante mit Saat von Erbse und Leindotter in einer Überfahrt (1 ÜF) statt in zwei Überfahrten und eine Mischung von Erbse/Leindotter/Weißklee ergänzt. Faktor 2 und seine Stufen blieben unverändert.

*Tabelle 8: Übersicht der Faktoren und Stufen in den Reihenversuchen mit Erbse*

Faktor- stufe	Faktor 1: Gemengepart- ner	Faktor 2: Reihenabstand und Anordnung Gemenge- partner		
		2023	2024	2025
1	Leindotter	16 cm, gemischt	16 cm	16 cm
2	Saflor	37,5 cm, gemischt	37,5 cm	37,5 cm
3	Körnerhanf (2023, 2024)	16 cm, alternierend		
4	Leindotter 1ÜF (2025)	16 cm, Leindotter flächig		
5	Leindotter/Weißklee (2025)	37,5 cm, Leindotter flächig		

### 4.3.2 Versuche mit Ackerbohne

#### 4.3.2.1 Sortenversuch

Analog zum Sortenversuch mit Erbsen wurden verschiedene Ackerbohnen Sorten im Gemenge mit Saflor untersucht. Neben dem Rohproteintrag nach BSA (Tabelle 9) waren die Pflanzengesundheit und entsprechende Toleranzen bzw. Resistenzen entscheidend für die Sortenauswahl. Insbesondere die Sorte Jasmin, die zwar noch nicht in der beschreibenden Sortenliste des BSA gelistet ist, soll laut Züchter I. G. Pflanzenzucht GmbH durch einen Vorteil in der Pflanzengesundheit Mehrerträge erzielen [87]. Die Aussaat erfolgte entsprechend dem Anbaustandard (Tabelle 5).

**Tabelle 9:** *Übersicht über die Sorteneigenschaften der angebauten Ackerbohnen nach Einschätzung durch das BSA im Jahr 2023 [43] und 2025 [44]; TKM bestimmt durch TFZ*

Jahr	Sorte	TKM (Saatgut) Reife in g	Wuchs- höhe	Lagernei- gung	Rohprotein- ertrag	
2023	Tiffany	490	5	6	2	7
2023	Julia	503	-	6	4	7
2023	Bioro*	404	-	-	-	-
2024, 2025	Birgit	460, 505	5	6	3	8
2024	Stella	585	5	6	3	8
2024,2025	Jasmin*	398, 505	-	-	-	-
2025	Ketu	500	5	6	2	8

\* Sorte nicht in Sortenliste des BSA gelistet

#### 4.3.2.2 Saatstärkenversuch

Im Saatstärkenversuch wurde in der Kombination Ackerbohne/Saflor die Saatstärke bei der Gemengepartner variiert, genaue Angaben dazu in  $\text{Kö}/\text{m}^2$  sowie Prozent der Reinsaatstärke liefert Tabelle 10. Hier entspricht ebenfalls jeweils die Stufe 2 der beiden Faktoren dem Anbaustandard. Im letzten Versuchsjahr entfiel, wie im Saatstärkenversuch mit Erbse, die Stufe 3 des ersten Faktors. Es wurde geprüft, welches Verhältnis von Ackerbohne zu Saflor am erfolgreichsten ist und bei welcher Pflanzendichte insgesamt eine Unterdrückung stattfindet.

**Tabelle 10:** *Varianten im Saatstärkenversuch Ackerbohne/Saflor, Angabe der Saatstärken in keimfähigen Körnern pro Quadratmeter und in Prozent der Reinsaatstärke*

Faktor 1: Saatstärke Ackerbohne		Faktor 2: Saatstärke Saflor	
$\text{Kö}/\text{m}^2$	% Reinsaatstärke	$\text{Kö}/\text{m}^2$	% Reinsaatstärke
45	100	75	100
35	75	50	66
25	50	25	33

#### 4.3.2.3 Reihenversuch

Der Reihenversuch mit Ackerbohne war in den ersten beiden Versuchsjahren auf gleiche Weise aufgebaut wie der Reihenversuch mit Erbse (vgl. 4.3.1.3). Im Jahr 2025 wurden ebenfalls eine vierte und fünfte Stufe des ersten Faktors ergänzt, die allerdings statt Leindotter die Kultur Saflor enthielten (Tabelle 11). Dieser wurde, anders als bisher für Kombination mit Saflor, gemischt ausgesät.

**Tabelle 11:** *Übersicht der Faktoren und Stufen in den Reihenversuchen mit Ackerbohne*

Faktor- stufe	Faktor 1: Gemengepart- ner	Faktor 2: Reihenabstand und Anordnung Gemenge- partner		
		2023	2024	2025
1	Leindotter	16 cm, gemischt	16 cm	16 cm
2	Saflor	37,5 cm, gemischt	37,5 cm	37,5 cm
3	Körnerhanf (2023, 2024)	16 cm, alternierend		
4	Saflor gemischt (2025)	16 cm, Leindotter flächig		
5	Saflor/Weißklee (2025)	37,5 cm, Leindotter flächig		

### 4.3.3 Versuche mit Sojabohne

Aufgrund der Erfahrungen mit Sojabohnen im Gemenge im Jahr 2024 wurden die Versuche im Folgejahr deutlich reduziert. Im Jahr 2025 wurde allerdings der Sortenversuch erweitert.

#### 4.3.3.1 Sortenversuch

In den ersten beiden Jahren wurden je drei Sojabohnensorten im Gemenge mit Saflor getestet. Da sich zeigte, dass besonders die Abreife und die Findung eines gemeinsamen Erntetermins mit den Gemengepartnern relevant ist, wurden im Jahr 2025 insgesamt sieben Sojasorten untersucht. Alle Sorten waren frühreif und damit der Reifegruppe 000 zuzuordnen. Dies sollte die Abreife im Gemenge sicherstellen. Innerhalb dieser Reifegruppe wurde weiter zwischen der Reife (Tabelle 12) unterschieden. Aufgrund der in den ersten beiden Versuchsjahren gesammelten Erfahrungen wurde Leindotter als Gemengepartner gewählt.

**Tabelle 12:** Übersicht über die Sorteneigenschaften der angebauten Sojabohnen nach Einschätzung durch das BSA im Jahr 2023 [43] und 2025 [44]; TKM bestimmt durch TFZ

Jahr	Sorte	TKM (Saatgut) in g	Reife	Wuchshöhe	Lagerneigung	Rohprotein-ertrag
2023	ES Comandor	160	4	5	4	8
	ES Governor	210	4	4	3	7
	Adelfia	260	5	4	3	8
2024	ES Comandor	214	4	5	4	8
	Sahara	178	4	4	4	8
	Achillea	220	5	4	3	8
2025	ES Comandor	120	4	4	3	7
	Sussex	130	4	4	3	7
	ES Compositor	227	6	5	3	8
	Ascada	228	5	4	3	-
	Acardia*	192	-	-	-	-
	Adelfia	162	4	4	3	8
	Sahara	163	4	5	3	9

\* Sorte nicht in Sortenliste des BSA gelistet

#### 4.3.3.2 Saatstärkenversuch

Im Saatstärkenversuch wurden in den Gemengen Sojabohne/Leindotter (2023) und Sojabohne/Saflor (2024) die Saatstärken der Leguminose wie auch der Ölpflanze in verschiedenen Abstufungen variiert (Tabelle 13). Der Versuch ist aufgrund der Umfangsreduktion im Jahr 2025 entfallen.

**Tabelle 13:** Varianten im Saatstärkenversuch Sojabohne/Leindotter (2023) und Sojabohne/Saflor (2024)

Faktor 1: Saatstärke Sojabohne		Faktor 2: Saatstärke Leindotter		Faktor 2: Saatstärke Saflor	
Kö/m <sup>2</sup>	% Reinsaatstärke	Kö/m <sup>2</sup>	% Reinsaatstärke	Kö/m <sup>2</sup>	% Reinsaatstärke
70	100	400	100	75	100
53	75	200	50	50	66
35	50	100	25	25	33

4.3.3.3 Reihenversuch

Der Versuch war 2023 und 2024 ähnlich aufgebaut wie die Reihenversuche mit Erbse und Ackerbohne (Tabelle 14). Der Gemengepartner Körnerhanf wurde nur im zweiten Versuchsjahr getestet. Aufgrund der Erfahrungen im Jahr 2024 wurde der Versuch 2025 reduziert. Anstelle der Unterscheidung zwischen Reihenabständen wurde eine zweite Sojabohnen-Sorte (Sussex) ergänzt, da besonders der gemeinsame Erntetermin von Ölfrucht und Sojabohne eine Herausforderung darstellte. Beide Sorten wurden jeweils mit Leindotter gemischt oder mit Saflor alternierend ausgesät.

Tabelle 14: Übersicht der Faktoren und Stufen in den Reihenversuchen mit Sojabohne

Faktor- stufe	Faktor 1: Gemengepartner	Faktor 2: Reihenabstand und Anordnung Gemengepartner		Faktor 2: Sojasorte
		2023	2024	
1	Leindotter	16 cm, gemischt	16 cm	ES Comandor
2	Saflor	37,5 cm, gemischt	37,5 cm	Sussex
3	Körnerhanf (2024)	16 cm, alternierend		
4		16 cm, Leindotter flächig		
5		37,5 cm, Leindotter flächig		

4.3.4 Versuche aller Kulturen in Reinsaat

Als Kontrolle wurden alle Kulturen in Reinsaat mit unterschiedlicher Intensität angebaut (Tabelle 15). In der Variante entsprechend ortsüblicher Praxis wurden Dünge- und Pflanzenschutzmittel bedarfsgerecht eingesetzt. Die Leguminosen wurden dabei nicht mit zusätzlichem Stickstoff gedüngt. In zwei weiteren Varianten fand kein Einsatz chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmittel statt. Die Varianten sollten unterschiedliche Intensitätsstufen des Anbaus widerspiegeln. Daraus entstanden Varianten mit (+PSM) und ohne (–PSM) chemisch-synthetischen Pflanzenschutz sowie Varianten, in denen eine mechanische Beikrautregulierung mit der Hacke (+mech) durchgeführt wurde. Zusätzlich bestand die Option mit (+N) und ohne (–N) zusätzlicher mineralischer Stickstoffdüngung. Gedüngte Varianten erhielten eine Gesamtmenge von 120 kg N/ha inklusive N<sub>min</sub>.

Für Saflor und Hanf ist kein Herbizid im Wasserschutzgebiet, in dem die Versuchsflächen des TFZ in Straubing liegen, zugelassen. Eine Herbizidapplikation fand daher in diesen Kulturen grundsätzlich nicht statt. Für die Leguminosen wurde eine Mischung mit den Wirkstoffen Dimethenamid-P und Pendimethalin (Spectrum plus mit 4,0 l/ha) im Voraufbau verwendet. Leindotter wurde mit Metazachlor (Butisan) in einer Aufwandmenge von 1,5 l/ha behandelt. Im Jahr 2024 musste aufgrund der Witterungsbedingungen auf die Ausbringung eines VA-Herbizids verzichtet werden.

Aus allen Varianten entstanden zwei Versuche, die sich durch den Saattermin abgrenzten. Der Reinsaat-Versuch zum frühen Saattermin umfasste die Kulturen Erbse, Ackerbohne, Leindotter und Saflor. Im zweiten Versuch mit späterer Aussaat waren Sojabohne und Körnerhanf, im dritten Jahr zusätzlich auch Leindotter und Saflor, enthalten. Außerdem wurden im letzten Versuchsjahr bei den frühen Reinsaaten alle Kontroll-Varianten der Ölfrüchte zweimal angelegt. So konnten sie zum Erntezeitpunkt sowohl der Erbse als auch der Ackerbohne geerntet werden und boten somit einen besseren Vergleich als im Jahr zuvor.

*Tabelle 15: Übersicht der Varianten in den Reinkulturversuchen der Sommerungen*

Kultur	Stickstoffdüngung	Beikrautregulierung (PSM-Wirkstoff)	Bezeichnung
Ackerbohne	Nein	Chemisch (Dimethenamid-P + Pendimethalin)	BA-N+PSM
Futtererbse	Nein	Chemisch (Dimethenamid-P + Pendimethalin)	EF-N+PSM
Sojabohne	Nein	Chemisch (Dimethenamid-P + Pendimethalin)	SJ-N+PSM
Ackerbohne	Nein	Mechanisch	BA-N+mech
Futtererbse	Nein	Mechanisch	EF-N+mech
Sojabohne	Nein	Mechanisch	SJ-N+mech
Leindotter	Ja	Chemisch (Metazachlor)	LND+N+PSM
Saflor	Ja	Insektizid/Fungizid bei Bedarf	SFL+N+PSM
Körnerhanf	Ja	Insektizid/Fungizid bei Bedarf	HF+N+PSM
Leindotter	Ja	Mechanisch	LND+N+mech
Saflor	Ja	Mechanisch	SFL+N+mech
Körnerhanf	Ja	Mechanisch	HF+N+mech
Leindotter	Nein	Mechanisch	LND-N+mech
Saflor	Nein	Mechanisch	SFL-N+mech
Körnerhanf	Nein	Mechanisch	HF-N+mech

#### **4.3.5 Zusätzliche Versuche**

##### **4.3.5.1 Versuch zum Gemenge mit drei Kulturen**

In einem weiteren Versuch wurden 2023 die Auswirkungen von Gemengen dreier Kulturen in einem einfaktoriellen Versuch getestet. Die Gemengepartner wurden in allen Varianten in einem Saatgutbehälter gemischt und im Getreideabstand (16 cm) zusammen ausgebracht. Zusätzlich zu den bereits vorgestellten Kulturen wurden Weißklee und Phacelia als blühende Bei-/Untersaat genutzt. Getestet wurden die Kombinationen aus Ackerbohne und Saflor zusammen mit Leindotter, Weißklee oder Phacelia. Erbse und Leindotter



wurden mit Weißklee oder Phacelia ergänzt. Die Saatstärke von Weißklee betrug 500 Kö/m<sup>2</sup> (entspricht ca. 8 kg/ha), die von Phacelia wurde aufgrund ihrer hohen Wüchsigkeit auf niedrige 5 Kö/m<sup>2</sup> festgelegt. Das Ziel war eine zusätzliche Bodendeckung und Stickstofffixierung durch Weißklee, während Phacelia als blühende Pflanze zur Unterstützung von Nützlingen beitragen sollte.

#### 4.3.5.2 Versuch zur gänzlich gemischten Saat mit gemeinsamer Ablagetiefe

In den bisher beschriebenen Versuchen wurde die Saattiefe ab 2024 für jede Kultur individuell gewählt. Dafür sind bei gemischter Saat (Erbse/Leindotter) zwei Überfahrten nötig. Im Versuch zur gemeinsamen Ablagetiefe wurde getestet, ob Gemenge gemischt in gleicher Saattiefe gesät werden können, ohne dass sich negative Auswirkungen auf Feldaufgang, Wuchs und Ertrag zeigen. Dies würde Kostenaufwand (keine Mehrtank-Sätechnik erforderlich), Zeitaufwand, Dieselverbrauch und die Gefahr einer Verdichtung des Bodens reduzieren. Daher wurden 2024 die Versuche zum Gemenge mit drei Kulturen um Kombinationen, die ebenfalls in einer Überfahrt auf gleicher Ablagetiefe gemischt gesät wurden, ergänzt. Der Faktor Reihenabstand wurde hinzugefügt und unterteilte sich in die Stufen enger Reihenabstand (16 cm) und weiter Reihenabstand (37,5 cm). Eine Übersicht der Varianten gibt Tabelle 16. Der Versuch wurde für Futtererbse, Ackerbohne und Sojabohne angelegt. Als direkter Vergleich dienen jeweils Varianten in alternierenden Reihen.

*Tabelle 16: Varianten zur gemischten Saat in gleicher Ablagetiefe im Jahr 2024*

Versuch	Faktor 1: Gemengepartner	Faktor 2: Reihenabstand	Reihenverteilung
Futtererbse	Saflor	16 cm; 37,5 cm	gemischt
	Saflor	16 cm; 37,5 cm	alternierend
	Leindotter	16 cm; 37,5 cm	gemischt
	Leindotter	16 cm; 37,5 cm	gemischt
	Leindotter/Phacelia	16 cm; 37,5 cm	gemischt
	Leindotter/Weißklee	16 cm; 37,5 cm	gemischt
	Leindotter	LND 16 cm, EF 37,5 cm	teilweise gemischt
Ackerbohne	Saflor	16 cm; 37,5 cm	gemischt
	Saflor	16 cm; 37,5 cm	alternierend
	Saflor/Leindotter	16 cm; 37,5 cm	gemischt
	Saflor/Phacelia	16 cm; 37,5 cm	gemischt
	Saflor/Weißklee	16 cm; 37,5 cm	gemischt
Sojabohne	Saflor	16 cm; 37,5 cm	gemischt
	Saflor	16 cm; 37,5 cm	alternierend
	Saflor/Phacelia	16 cm; 37,5 cm	gemischt
	Saflor/Weißklee	16 cm; 37,5 cm	gemischt

Im Jahr 2025 wurden vereinzelt Varianten aus diesem Versuch in die jeweiligen Reihenversuche mit Erbse und Ackerbohne integriert. Dadurch konnten einige Dopplungen und damit der Flächenbedarf reduziert werden, die im Jahr zuvor aufgrund der Auftrennung auf mehrere Standorte nötig waren.

#### 4.3.5.3 Versuch zum Saattermin

Für die Mischungen von Leindotter mit Sojabohne bzw. Futtererbse wurden je drei Aussaattermine geplant. Aufgrund der deutlich späteren Aussaat im Jahr 2023 des ersten Termins konnten keine Termine zwischen den üblichen Saatterminen durchgeführt werden, sondern nur zusätzlich spätere Termine. Die erste Aussaat fand am 09.05. und die zweite am 20.05. statt. Zusätzlich wurde ein sehr später Termin (02.06.) etabliert. Im Jahr 2024 wurden für das Erbsen-Gemenge drei und für das Sojabohnen-Gemenge zwei Saattermine durchgeführt (Tabelle 17). Im Zuge der Umfangsreduzierung entfiel dieser Versuch im letzten Versuchsjahr.

*Tabelle 17: Saattermine im Versuch zum Aussaattermin von Sojabohne und Futtererbse*

Variante	Saattermine 2023	Saattermine 2024
Futtererbse/Leindotter	09.05., 20.05.	08.04., 29.04., 14.05.
Sojabohne/Saflor	09.05., 20.05., 02.06.	29.04., 14.05.

#### 4.3.5.4 Versuche zum Mischanbau von Winterleguminosen und Ölfrüchten

Neben den Sommerungen wurden 2023 drei Versuche mit Winterungen angelegt. Winterackerbohne und Wintererbse wurden jeweils in zwei verschiedenen Saatstärken mit Winterraps, der in drei verschiedenen Saatstärken (10, 20 und 30 Kö/m<sup>2</sup>) gesät wurde, untersucht. Die Ackerbohnen-sorten Augusta wurde mit 25 und 19 Kö/m<sup>2</sup> ausgesät, die Erbsen-sorten Feroe mit 40 und 30 Kö/m<sup>2</sup>. Als Raps-sorte wurde Artemis gewählt. Der Winterraps wurde zum üblichen Saattermin Anfang September gesät, während die Leguminosen Ende September, nach Hackeinsatz, zwischen die Rapsreihen gedrillt wurden.

Zur Kontrolle der Gemengeversuche, die im Herbst gesät wurden, wurden die Kulturen ebenfalls in Reinsaat verschiedener Intensitäten gesät (Tabelle 18). Die nach ortsüblicher Praxis durchgeführte Rapsvariante wurde als „+N+PSM1“ bezeichnet. In der Variante „+N+PSM2“ wurde auf ein Herbizid ausgewichen, das auch für den Mischanbau mit Leguminosen angewendet werden kann. Die Variante „-N-PSM“ spiegelt die extensivste Variante ohne zusätzliche Stickstoffdüngung oder Herbizide wider. Aufgrund hoher N<sub>min</sub>-Werte entfiel die Herbizid-düngung. Die Leguminosen wurden in den Varianten mit (-N+PSM) und ohne (-N-PSM) Herbizidbehandlung angebaut.

Tabelle 18: Übersicht der Varianten in den Reinkulturversuchen der Winterung

Kultur	Stickstoff-düngung	Beikrautregulierung (PSM-Wirkstoff)	Bezeichnung
Winterraps	Ja	Chemisch (Metazachlor)	WR+N+PSM1
Winterraps	Ja	Chemisch (Clomazone)	WR+N+PSM2
Winterraps	Nein	Mechanisch	WR-N+mech
Winterackerbohne	Nein	Chemisch (Pendimethalin)	BA-N+PSM
Winterackerbohne	Nein	Mechanisch	BA-N+mech
Winterfuttererbse	Nein	Chemisch (Pendimethalin)	EF-N+PSM
Winterfuttererbse	Nein	Mechanisch	EF-N+mech

Da der Versuch mit Winterraps nicht erfolgsversprechend ausfiel (vgl. 5.7), wurde im zweiten Versuchsjahr ein anderer Ansatz getestet.

Zwei Sorten Winterackerbohne (Augusta, Arabella) wurden am 18.10.2024 mit einer Saatstärke von 25 Kö/m<sup>2</sup> ausgebracht. Am 21.03.2025 wurden Leindotter und Saflor nah an die Ackerbohnen-Reihen gesät (Abbildung 4), sodass eine mechanische Beikrautregulierung nach wie vor möglich war. Leindotter wurde mit 200 und Saflor mit 50 Kö/m<sup>2</sup> gesät. Die Reinsaatvarianten der Sorte Augusta mit 33 Kö/m<sup>2</sup> in verschiedenen Intensitäten (mit und ohne VA-Herbizid) wurden direkt in den Versuch integriert.



Abbildung 4: Saat der Ölfrüchte im Frühjahr 2025 an die bereits bestehenden Ackerbohnen-Reihen

#### 4.4 Datenerhebung und Bonituren

Kurz nach dem Auflaufen fand jeweils eine Bonitur des Feldaufgangs jeder Kulturart und Sorte statt. Alle 7 bis 14 Tage wurden der Entwicklungsverlauf und Auffälligkeiten wie Beikrautverteilung, Lagerneigung, Konkurrenz, Schäden durch Schaderreger oder Wetterereignisse mittels Fotoaufnahmen erfasst. Eine detaillierte Bonitur wurde bei Auffälligkeiten ergänzt. Zur Blüte und vor der Ernte wurde eine Höhenmessung der Bestände durchgeführt. Die Bestände wurden regelmäßig durch Luftaufnahmen mittels Drohne dokumentiert. Sechs Wochen nach Aussaat wurden die Wurzeln der Leguminosen auf die Ausbildung von Knöllchen und die Aktivität der Knöllchenbakterien untersucht. Die Durchführung der Bonituren orientierte sich an den „Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen“ des Bundessortenamts [42].

##### 4.4.1 Feldaufgang

Zur genauen Beurteilung des Feldaufgangs wurden die Pflanzen entlang einer Zählstrecke gezählt. Dafür wurden pro Parzelle zufällig zwei bis drei Strecken, je nach Gleichmäßigkeit der Pflanzenverteilung, mit einer Länge von jeweils einem Meter ausgewählt. Der Mittelwert für die Pflanzenanzahl entlang eines Meters kann unter Berücksichtigung des Reihenabstands auf die Fläche von einem Quadratmeter umgerechnet werden. Über die Formel (4.1) wurde der Feldaufgang in Prozent bestimmt.

$$\text{Feldaufgang in \%} = \frac{\text{Gezählte Pflanzen pro m}^2}{\text{Saatstärke (Kö/m}^2)} * 100 \quad (4.1)$$

##### 4.4.2 Entwicklungsverlauf

In regelmäßigen Abständen wurde in allen Versuchen der Entwicklungsverlauf der einzelnen Kulturen variantenscharf bestimmt. Dazu diente die BBCH-Skala von MEIER und BLEIHOLDER (2016) [109]. Sie beschreibt durch Ziffern in aufsteigender Reihenfolge den gesamten Entwicklungszyklus einer Pflanze von der Makrostufe 0 (Keimung/Austrieb) bis zur Makrostufe 9 (Absterben/Eintreten der Vegetationsruhe). Zusätzlich wird durch eine zweite Ziffer, ebenfalls von 0 bis 9, das Mikrostadium genannt. Dieses beschreibt kurze, für die jeweilige Kultur charakteristische Entwicklungsschritte. Dadurch ergibt sich ein zweistelliger Code, der den exakten Zeitpunkt der Entwicklung wiedergibt. Die Skalen für Sojabohne, Ackerbohne, Futtererbse und Raps sind eindeutig festgelegt. Für Hanf wurde die im Projekt „Verwertung und Anbauoptimierung von Hanf als nachwachsender Rohstoff“ angepasste BBCH-Skala [58] verwendet. Für Leindotter wurde die angepasste Skala nach MARTINELLI und GALASSO (2011) [107] und für Saflor nach FLEMMER et al. (2014) [68] genutzt.



#### 4.4.3 Wuchshöhe

Die Wuchshöhe der Pflanzen, vom Boden bis zum höchsten Punkt der Pflanze, wurde zur Blüte und in den Gemengen mit Ackerbohne und Sojabohne vor der Ernte ermittelt. Dafür wurde parzellenscharf die Höhe aller Mischungspartner separat gemessen. Sie dient zusammen mit dem Entwicklungsverlauf als Vergleichsmaß für die Abschätzung der Konkurrenz zwischen den Kulturen bzw. zum Erkennen der Dominanz eines Mischungspartners beim Überwachsen des anderen.

#### 4.4.4 Beurteilung der Pflanzengesundheit

Bei der wöchentlichen Feldbegehung wurde die Pflanzengesundheit beurteilt. Dabei wurde auf den Befall mit Krankheiten bzw. deren Symptome, ausgelöst durch Pilze, Viren oder Schadinsekten geachtet und Auffälligkeiten dokumentiert. Ein Monitoring von Schadinsekten durch spezielle Fallen ermöglicht es, den Zuflug und den Befall der Pflanzenbestände zu beobachten und einzuschätzen. Es dient als Entscheidungsgrundlage, ob ein Eingreifen mithilfe von Insektiziden nötig und angemessen ist. Im Jahr 2023 wurde ein Befall der Erbsen mit den Larven des Erbsenwicklers beobachtet. Daraufhin wurden im Jahr 2024 und 2025 Pheromonfallen (Tripheron-Fallenset, Biofa GmbH) in den Erbsen-Versuchen aufgestellt (Abbildung 5).



*Abbildung 5: Pheromonfalle am Grasweg um einen Erbsenbestand*

Am 21.02.2024 wurden sechs Gelbschalen am Rand der Winterraps-Versuche aufgestellt. Zu Vegetationsbeginn standen die Gelbschalen am Boden (Abbildung 6), im weiteren Wachstumsverlauf wurde die Höhe kontinuierlich an die Wuchshöhe der Pflanzen angepasst. Die Schalen werden zur Hälfte mit Wasser und zwei Tropfen Spülmittel befüllt. Die gelbe Farbe simuliert die Rapsblüte und spricht gezielt Schadinsekten an. Die angelockten

Insekten fallen durch das Gitter in das Wasser und sinken durch dessen reduzierte Oberflächenspannung zu Boden. Das aufliegende Gitter schützt Bienen und Hummeln vor dem Ertrinken. Einmal pro Woche wurden die Schalen geleert und die enthaltenen Insekten identifiziert und gezählt. Im Anschluss wurden die Schalen erneut befüllt. Für das Monitoring des Rapsglanzkäfer-Befalls wurde die „Klopfprobe“ [101] durchgeführt. Dabei werden an fünf verschiedenen Stellen jeweils fünf Einzelpflanzen geschüttelt und die herunterfallenden Käfer in einer Schale aufgefangen. Daraus lässt sich die prozentuale Befallshäufigkeit ableiten.



*Abbildung 6: Aufstellen der Gelbschalen im Randbereich der Winterrapsbestände*

#### **4.4.5 Trockensubstanzgehalt**

Über den TS-Gehalt kann der Wassergehalt bestimmt und die Abreife bewertet werden. Letztere dient als wichtige Einflussgröße hinsichtlich des Preises für die Ernteprodukte als auch als Qualitätsmerkmal für die Weiterverarbeitung von Körnern zu Öl.

Das Erntegut im Mischanbau hat generell einen höheren Anteil an Besatz und grünem Material. Um den TS-Gehalt zu bestimmen, muss die Probe gereinigt und aufgetrennt werden. Dabei vergeht Zeit, die aufgrund des Wasserverlusts und des Feuchtigkeitsaustauschs zwischen Körnern und Besatz zu einer Verfälschung der Probe führt. Für die exakte Bestimmung wäre die direkte und schnelle Auftrennung des Ernteguts inklusive Reinigung sofort nach der Ernte nötig. Die korrekte Ermittlung des TS-Gehalts einzelner Kulturen in Gemengen ist sehr aufwendig und war bei der Probenanzahl der Versuche realistisch nicht durchführbar.



Daher wurde 2024 nur für ausgewählte Varianten eine Probe des Ernteguts gezogen und in luftdichten Flaschen kühl gelagert. Am nächsten Tag wurden die Proben aufgetrennt, eingewogen (Einwaage), im Trockenschrank bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und im Anschluss erneut verwogen (Auswaage). Die Masse nach der Trocknung wird durch die Frischmasse dividiert und anschließend mit 100 multipliziert, um den TS-Gehalt zu erlangen. Dabei konnte allerdings nicht vollständig ausgeschlossen werden, dass sich die beiden Kulturen in ihrem Wassergehalt angeglichen hatten. Im Jahr 2025 wurde auf die zusätzliche Probennahme von TS-Proben verzichtet, da sie einen enormen Mehraufwand bei Mischfruchtversuchen verursachen und im Jahr 2024 aufgrund starker Schwankungen zwischen den Wiederholungen keine belastbaren Ergebnisse lieferte. Es ist davon auszugehen, dass der hohe Anteil an Besatz durch Stroh und Spreu die Ergebnisse der TS-Gehalte erheblich verfälscht hatte. Daher wurden variantenscharfe Proben der getrockneten und gereinigten Kulturen gezogen, gewogen und bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Nach dem Auswiegen wurde wie beschrieben der TS-Gehalt bestimmt.

$$TS\text{-Gehalt in \%} = \frac{Auswaage - Tara \text{ in } g}{Einwaage - Tara \text{ in } g} * 100 \quad (4.2)$$

#### 4.4.6 Trockenmasseertrag

Das Erntegut, bestehend aus beiden Gemengepartnern, wurde nach der Ernte für zwei Tage auf der Biomassetrocknung bei 40 °C getrocknet. Im Anschluss wurde es gereinigt, getrennt und verwogen. Für die Ergebnisdarstellung wurde der Kornertrag nach der praxisüblichen Trocknung bei 40 °C mit anschließender Reinigung verwendet, da TS-Gehalte 2024 nur für ausgewählte Varianten ermittelt wurden (vgl. 4.4.5). Der Parzellenertrag wurde auf einen Hektar hochgerechnet und als Dezitonne pro Hektar (dt/ha) angegeben.

#### 4.4.7 Parameter zur Bewertung von Gemengen

Der Relative Yield Total (RYT), oft auch als Land Equivalent Ratio (LER) bezeichnet, gibt den relativen Flächenertrag an. Er dient als Mittel für die Beurteilung der Flächenproduktivität des Misanbaus im Vergleich zum Anbau der Reinkulturen [47]. Er gibt an, wie viel Reinsaat-Fläche in Hektar benötigt wird, um den gleichen Ertrag wie von einem Hektar Gemenge zu erreichen. Um ihn zu berechnen, wird für jede Kultur das Verhältnis des Ertrags im Gemengeanbau zur Reinkultur gebildet, was den partiellen RYT (pRYT) widerspiegelt. Anschließend werden die Werte aller im Gemenge vorhandenen Kulturen aufsummiert (4.3). Der RYT besteht aus der Summe des pRYT für Kultur A (pRYT<sub>A</sub>) und für Kultur B (pRYT<sub>B</sub>) (4.4). Ist der RYT größer 1, kann der Misanbau im Vergleich zum Reinanbau als produktiver angesehen werden. Liegt der RYT unter 1, ist der Reinanbau ertragsmäßig im Vorteil. Der Ertrag bezieht sich dabei jeweils auf eine Fläche von 1 ha. Um die Auswirkungen des Misanbaus rein pflanzenphysiologisch zu bewerten, eignet

sich die Berechnung des RYT mithilfe der ungedüngten Ölpflanze. So kann der alleinige Effekt durch den Gemengepartner aufgezeigt werden. Soll der Mischanbau dagegen mit dem praxisüblichen Reinsaat-Anbau verglichen werden, eignen sich die Erträge der gedüngten Ölfrüchte im Reinanbau als Berechnungsgrundlage. Beide Werte wurden ermittelt und im Folgenden als RYT-N (Berechnung mit Reinsaatsertrag ungedüngter Ölfrucht) und RYT+N (Berechnung mit Reinsaatsertrag gedüngter Ölfrucht) bezeichnet. Darüber hinaus haben Xu et al. (2020) [163] einen weiteren Parameter, analog zum LER, definiert. Der Fertilizer Nitrogen Equivalent Ratio (FNER) gibt die Stickstoffdüngermenge an, die in den Reinsaat benötigt wird, um denselben Ertrag wie in Mischanbau zu erzeugen.

$$R_{YT} = \frac{\text{Ertrag Kultur A im Gemenge}}{\text{Ertrag Kultur A in Reinkultur}} + \frac{\text{Ertrag Kultur B im Gemenge}}{\text{Ertrag Kultur B in Reinkultur}} \quad (4.3)$$

$$R_{YT} = pR_{YT_A} + pR_{YT_B} \quad (4.4)$$

#### 4.5 Bodenanalysen

Vor der Aussaat wurden repräsentative Bodenproben der Versuchsflächen zur Bestimmung des mineralisierten Stickstoffs bis zu einer Tiefe von 90 cm gezogen. Zusätzlich fand eine Grundbodenanalyse der oberen 20 cm statt, um die Gehalte an Magnesium, Phosphor und Kalium und zusätzlich den pH-Wert zu ermitteln. Die  $N_{\min}$ -Proben wurden mit einem am Schlepper befestigten Bodenprobenahmegerät der Firma Kubach entnommen und bis zum Versand an die Firma Agrolab bei  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  aufbewahrt. Nach der Ernte, und im Jahr 2024 zusätzlich zu Vegetationsende, wurden erneut  $N_{\min}$ -Proben variantenscharf für ausgewählte Varianten gezogen und anschließend entsprechend der Prüfmethode (Tabelle 19) untersucht. Die  $N_{\min}$ -Werte geben Auskunft über den pflanzenverfügbaren Stickstoff im Boden. Die Ergebnisse und Probenahmeterminen der Frühjahrsuntersuchung sind in Tabelle 2 in Unterkapitel 4.1 zu finden. Unter Berücksichtigung der zusätzlichen N-Zufuhr über Mineraldünger und der N-Abfuhr über die Ernteprodukte kann eine Stickstoffbilanz erstellt werden. Außerdem hat der  $N_{\min}$ -Gehalt Auswirkungen auf die  $N_2$ -Fixierungsleistung der Knöllchenbakterien.



*Tabelle 19: Parameter und Prüfmethode durchgeführter Bodenanalysen*

Parameter	Laborvorschrift bzw. Prüfmethode
N <sub>min</sub> (Nitrat und Ammonium)	VDLUFA MB. Bd. 1, Kap. 6.1.4.1
pH-Wert	VDLUFA MB. Bd. 1, Kap. 5.1.1
Phosphor	VDLUFA MB. Bd. 1, Kap. 6.2.1.1
Kalium	VDLUFA MB. Bd. 1, Kap. 6.2.1.1
Magnesium	VDLUFA MB. Bd. 1, Kap. 6.2.4.1

#### 4.6 Kornanalysen

Für ausgewählte Varianten wurde der Rohproteingehalt nach Dumas [153] im Korn bestimmt. Zusätzlich wurden der Ölgehalt in den Körnern und der Anteil Freier Fettsäuren im Pflanzenöl analysiert. Dafür wurden aus dem Erntegut variantenscharfe Proben genommen und anschließend an die Firma Agrolab gesendet, die die entsprechenden Analysen (Tabelle 20) durchführte. Aus dem Rohproteingehalt kann, durch Dividieren mit dem Faktor 5,7, auf den N-Gehalt zurückgeschlossen werden.

*Tabelle 20: Parameter und Prüfmethode der durchgeführten Kornanalysen*

Parameter	Einheit	Laborvorschrift bzw. Prüfmethode
Rohprotein (N × 5,7)	%	DIN EN ISO 16634-1: 2008-1
Ölgehalt in OS	%	DIN EN ISO 659: 2009-11 (Hexan)
Freie Fettsäuren	% in Öl	DIN EN ISO 660: 2020-12

#### 4.7 Stickstoffbilanz

Um die Auswirkungen des Mischanbaus im Vergleich zum Reinkulturanbau auf den Stickstoffgehalt im Boden zu untersuchen, wurde für ausgewählte Varianten der Stickstoffsaldo berechnet. Dieser errechnet sich aus der Differenz der über Mineraldünger zugeführten und über die Körner abgefahrenen Stickstoffmengen. Der N<sub>min</sub>-Gehalt nach der Ernte und der Gehalt am Ende der Vegetationszeit wurden in die Interpretation einbezogen. So können Veränderungen der Stickstoffmenge im Boden durch beginnenden Abbau der im Boden verbleibenden Ernte- und Wurzelrückstände (inklusive Stroh) abgeschätzt werden. Der Austausch mit der Atmosphäre, der nicht durch Veränderungen in der N<sub>min</sub>-Menge erfasste Austausch mit dem Boden sowie N-Verluste durch Auswaschung blieben unberücksichtigt.

## 4.8 Ökologische Bewertung

Ergänzend zur pflanzenbaulichen Auswertung der Versuche wurde eine ökologische Bewertung erstellt. Das Vorgehen beruhte auf der Methodik des Life Cycle Assessment bzw. der Ökobilanzierung nach DIN EN ISO 14040 [51] und 14044 [52]. Sie umfasste die Abschnitte Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Auswertung. Es handelt sich um ein sehr flexibles Instrument, weshalb eine eindeutige Zieldefinition und Beschreibung des Untersuchungsrahmens wesentlich für die Berechnung und spätere Interpretation der Ergebnisse waren. Im Folgenden sind die Abschnitte des Life Cycle Assessment jeweils zunächst allgemein dargestellt und anschließend in Anwendung auf das Projekt MixNawaRo beschrieben.

### 4.8.1 Zieldefinition

Mit der Zieldefinition werden der Anwendungsbereich, die Motivation der Untersuchung sowie die Zielgruppe genau beschrieben.

Im Projekt MixNawaRo war das Ziel, Ökobilanzen für den Misch- sowie den Reinanbau von Leguminosen und Ölfrüchten zu erstellen und mit Bezug auf Fläche, Erträge und Qualitäten gegenüberzustellen. Dadurch konnte der Mischanbau bezüglich der Klimaschutzeffekte bewertet und als eine mögliche Klimaschutzmaßnahme abgeschätzt werden.

### 4.8.2 Untersuchungsrahmen

Die Beschreibung des Untersuchungsrahmens umfasst folgende Mindestkriterien:

- die zu untersuchenden Produkt- bzw. Produktionssysteme,
- die Systemgrenze inklusive Abschneidekriterien,
- die getroffenen Annahmen und Einschränkungen,
- die funktionelle(n) Einheit(en),
- die Allokationsverfahren,
- die Anforderungen an die Daten und die Datenqualität.

Die Auswahl der Datentypen und -quellen sowie deren Qualität sind nach ISO 14044 abhängig vom Ziel und Untersuchungsrahmen sowie von der vorliegenden Datenverfügbarkeit. Letztere ist auch entscheidend bei der Auswahl der Wirkungskategorien.

Die Bewertung des Mischfruchtanbaus und der Reinkulturen im Projekt MixNawaRo bezog sich auf die untersuchten Produktionssysteme der Feldversuche der Jahre 2024 und 2025 (vgl. 4.3). Der Schwerpunkt lag auf dem Vergleich und einer direkten Gegenüberstellung des Anbaustandards des Mischanbaus mit den zugehörigen Reinkulturen.

Die gewählte Systemgrenze „cradle to gate“ beinhaltete dabei alle Prozesse und Arbeitsverfahren von der Wiege bis zum Hoftor inklusive der Feldemissionen Lachgas und Nitrat, die aufgrund des Anbaus entstanden sind. Die Arbeitsverfahren sind in Tabelle 23 exemplarisch für Ackerbohne und Saflor aufgelistet. Da diese im Feldversuchswesen besonders

bezüglich der verwendeten Maschinen nicht repräsentativ für reale Anbauprozesse sind, wurden Daten standardisierter Produktionsverfahren verwendet. Hierfür wurde der KTBL-Verfahrensrechner Pflanze [98] verwendet und durch Expertenwissen zu Maschinen und Geräten ergänzt. Folgende Basisannahmen lagen bei der KTBL-Anwendung zugrunde: Anbau in wendender Bodenbearbeitung, eine Schlaggröße von 2 ha, ein mittleres Ertragsniveau bei mittlerem Boden, eine Mechanisierung von 120 kW sowie eine Hof-Feld-Entfernung von 2 km. Für die Berechnung der Feldemissionen wurden kulturspezifische Standardwerte festgelegt (Tabelle 21). Dabei wurden teilweise für Leindotter und Saflor Daten von Raps bzw. Sonnenblume verwendet, um Datenlücken zu überbrücken.

**Tabelle 21:** Kulturspezifische Informationen zu Trockensubstanzgehalten, Korn-Stroh-Verhältnissen und Stickstoffgehalten [39] [95], Verhältnis der unterirdischen Biomasse zur oberirdischen Biomasse sowie Stickstoffgehalt der unterirdischen Pflanzenzeile [157]. Für Leindotter und Saflor wurden Daten von Raps und Sonnenblume verwendet.

Kultur	TS-Gehalt (Korn) in %	TS-Gehalt (Stroh) in %	Stroh-Korn-Verhältnis in t FM Stroh/t FM Korn	Verhältnis unterirdischer zu oberirdischer Biomasse in kg TM/kg TM
Erbse	86	86	1	0,4
Ackerbohne	86	86	1	0,4
Sojabohne	86	86	1	0,4
Leindotter	91	86	1,7	0,22
Saflor	91	86	2	0,22
Kultur	N-Gehalt (Korn) in kg N/t FM	N-Gehalt (Stroh) in kg N/t FM	N-Gehalt (Korn + Stroh) in kg N/t FM	N-Gehalt (Wurzeln) in kg N/t TM
Erbse	36	15	54	0,022
Ackerbohne	41	15	56	0,022
Sojabohne	44	15	59	0,022
Leindotter	33,5	7	45,4	0,01
Saflor	50,8	7	61,3	0,01

Als Nachernteprozesse wurden der Korntransport zum Hof sowie die Aufreinigung des Ernteguts berücksichtigt. Die Bereitstellung der erforderlichen Maschinen und Geräte inklusive Maschinenhallen wurde ebenfalls einbezogen. Da die Trocknung für beide Anbaumethoden als gleich angenommen wurde, wurde diese in der Gegenüberstellung nicht betrachtet.

Zeitlich erstreckte sich der Betrachtungszeitraum somit von der Bodenbearbeitung vor der Aussaat bis zur Stoppelbearbeitung nach der Ernte inklusive einiger Nachernteprozesse.

Zur Auswertung verschiedener Fragestellungen und zu deren Beantwortung wurden drei funktionelle Einheiten genutzt:

- Anbaufläche in Hektar (ha) zur Bewertung der Flächennutzung und -effizienz,
- Erntemenge in Tonnen (t) Frischmasse mit handelsüblichen Trockensubstanzgehalten zum Vergleich der Erträge,
- Protein- bzw. Öl-Ertrag zum Vergleich der Qualitäten der Erntegüter.

Da beim Misanbau und beim Anbau der Reinkulturen unterschiedliche Outputs entstehen, wurde für deren direkten Vergleich die Nutzenkorb-Methode angewendet. Mit dieser Methode können Systeme miteinander verglichen werden, die nicht durch eine gemeinsame funktionelle Einheit beschrieben werden können und sich damit auch nicht auf einen gemeinsamen Nutzen zusammenfassen lassen. Dabei ist eine funktionelle Einheit die Bezugsgröße, z. B. 1 t Ackerbohne, 1 t Rohprotein oder 1 t Öl, auf die sich alle Effekte bzw. Umweltwirkungen beziehen. Die Summe der Produkte mit ihren jeweiligen Mengen und spezifischen Nutzen werden im Nutzenkorb zusammengefasst. Im Fall des Projekts MixNawaRo bildeten die unterschiedlichen Erntegüter im Gemengeanbau, z. B. Ackerbohne und Saflor, einen Nutzenkorb. Der Nutzenkorb „Ertrag“ ist in Abbildung 7 beispielhaft für den Anbau von Ackerbohne und Saflor dargestellt.

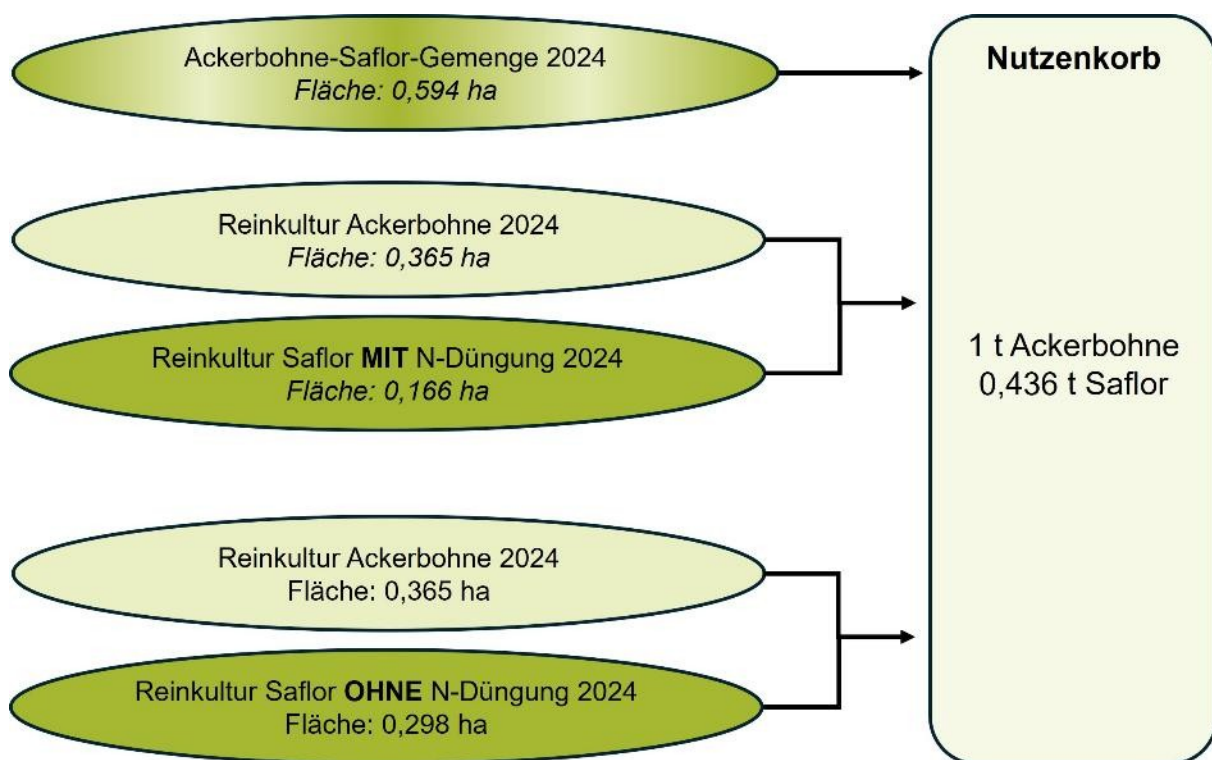


Abbildung 7: Darstellung des Nutzenkorbs „Ertrag“ beispielhaft für den Anbau der Ackerbohne mit Saflor

Dieser beispielhafte Nutzenkorb bestand aus einer Tonne Ackerbohne und der im Gemenanbau auf derselben Fläche (0,594 ha) produzierten Erntemenge von 0,436 t Saflor. Gleichzeitig wurde im Reinanbau für den gleichen Nutzen 0,365 ha Ackerbohne und 0,166 ha Saflor mit Stickstoff-Düngung benötigt.

Um eine qualitätsbezogene Auswertung zu ermöglichen, wurde ein weiterer Nutzenkorb gebildet, der aus dem Rohprotein- sowie dem Öl-Ertrag bestand (Abbildung 8). Dieser Nutzenkorb „Qualität“ umfasste nicht nur die Erträge, sondern auch die Qualität in Form von Rohprotein- und Öl-Gehalt.

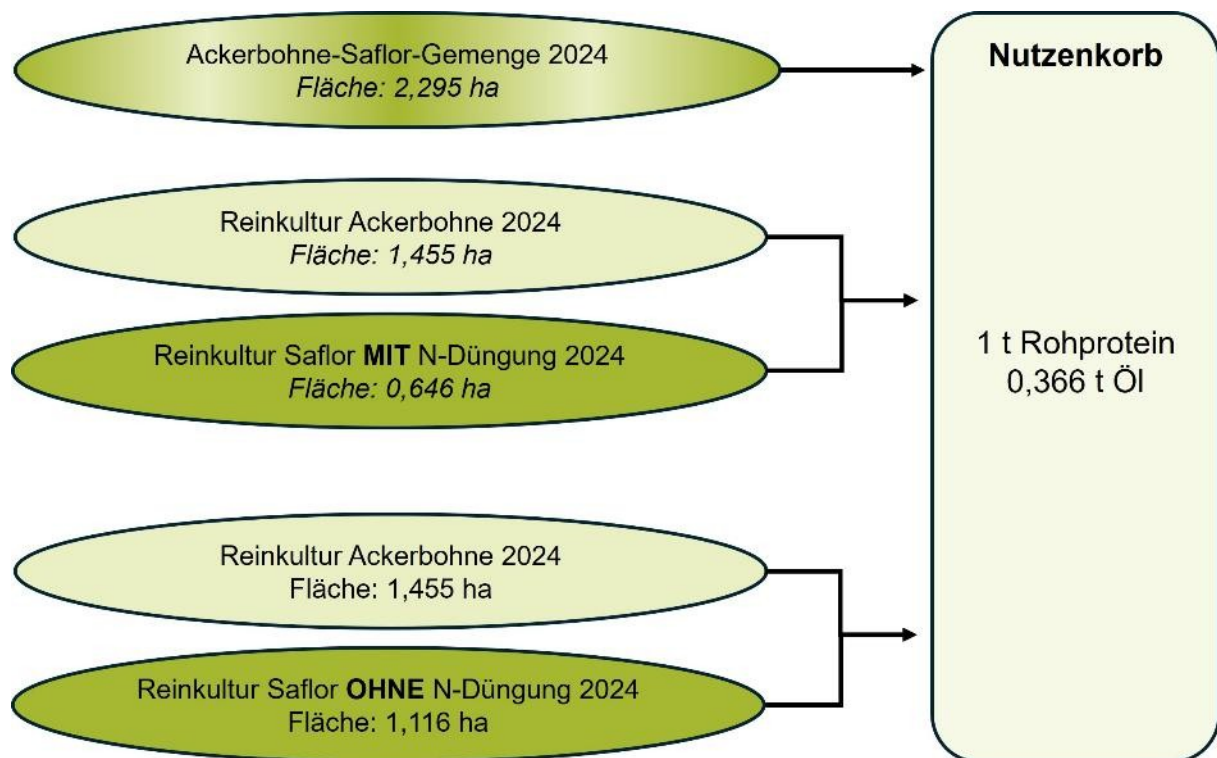


Abbildung 8: Darstellung des Nutzenkorbs „Qualität“ beispielhaft für den Anbau der Ackerbohne mit Saflor

Da durch die Verwendung von Nutzenkörben alle Produkte des Misanbaus erfasst wurden, war eine zusätzliche Allokation nicht erforderlich, um den Misanbau mit den Reinkulturen zu vergleichen.

Die programmtechnische Umsetzung der ökologischen Bewertung erfolgte mit der Software openLCA 2.5 [78] unter Verwendung der Ökobilanz-Datenbank ecoinvent 3.11 [160]. Für die eingesetzten Betriebsmittel (Stickstoffdünger, Pflanzenschutzmittel und Saatgut) wurden vorhandene LCA-Datensätze verwendet. Die Arbeitsverfahren wurden in Anlehnung an bestehende Datensätze anhand der für die Feldversuche spezifisch erarbeiteten Sachbilanzen neu erstellt. Dabei wurden die Inputs der Datensätze vereinheitlicht und die Dieserverbräuche sowie die dieselabhängigen Emissionen an die Dieserverbräuche aus dem KTBL-Verfahrensrechner angepasst.

### 4.8.3 Sachbilanz

Die Sachbilanz ist eine Stoff- und Energieanalyse, in der alle In- und Outputs des Produktsystems quantifiziert werden, ohne diese zu bewerten.

In Tabelle 22 sind die Betriebsmittel Saatgut und Stickstoffdünger sowie die Feldemissionen Lachgas und Nitrat am Beispiel von Ackerbohne und Saflor in Reinsaat und im Gemenge dargestellt.

*Tabelle 22: Betriebsmittel und Feldemissionen Lachgas und Nitrat des Anbaus von Ackerbohne und Saflor in Reinsaat sowie von Ackerbohne-Saflor im Gemenge im Anbaujahr 2025*

	Ackerbohne	Saflor mit N-Düngung	Saflor ohne N-Düngung	Ackerbohne-Saflor-Gemenge
Saatgut Ackerbohne in kg/ha	242	-	-	188
Saatgut Saflor in kg/ha	-	18,3	18,3	12
Düngemittel KAS in kg/ha	-	189	-	-
Lachgasemissionen in kg N/ha	0,966	0,825	0,347	0,582
Nitratemissionen in kg N/ha	4,476	1,797	0	0

Die für den Anbau von Ackerbohne und Saflor in Reinsaat und im Gemenge benötigten Arbeitsverfahren sind in Tabelle 23 aufgelistet. Hier sind auch die zugehörigen Dieserverbräuche benannt.

**Tabelle 23:** *Arbeitsverfahren mit Dieserverbrauch in kg/ha des Anbaus von Ackerbohne und Saflor in Reinsaat sowie von Ackerbohne und Saflor im Gemenge im Anbaujahr 2025*

Arbeitsverfahren	Ackerbohne	Saflor mit N-Düngung	Saflor ohne N-Düngung	Ackerbohne-Saflor-Gemenge
Boniturfahrten	0,16	0,16	0,16	0,16
Pflügen mit Drehpflug	18,75	18,75	18,75	18,75
Grubbern mit Flügelschargrubber, flach	9,17	9,17	9,17	9,17
Eggen mit Saatbettkombination	-	-	-	5,49
Saatguttransport	1,62	-	-	1,34
Säen von Weizen, Ackerbohnen, Erbsen, Sojabohnen mit Kreiselegge und Sämaschine	11,12	11,12	11,12	-
Säen von Weizen, Ackerbohnen, Erbsen, Sojabohnen mit Sämaschine	-	-	-	4,14
Striegeln	2,86	2,86	2,86	2,86
Hacken von Sonnenblumen, Ackerbohnen, Sojabohnen	4,04	4,04	4,04	4,04
Mineraldünger (Haarmehlpellets, PK, K, P, KAS) ausbringen, ab Lager, loser Dünger (370 kg)	-	1,51	-	-
Mähdrusch von Raps, Ackerbohnen, Öllein; Standwagen am Schlagrand	17,93 (3,5 t)	15,09 (2 t)	15,09 (2 t)	17,01 (3 t)
Korntransport	1,61	0,92	0,92	1,24
Eggen mit Scheibenegge, schräg (30°), flach	6,17	6,17	6,17	-
Eggen mit Scheibenegge, schräg (30°), tief	7,95	7,95	7,95	-
Stoppelbearbeitung, flach, schräg (30°)	-	-	-	5,73
Stoppelbearbeitung, tief, schräg (30°)	-	-	-	6,68

Die Sachbilanzendaten für die Betriebsmittel, Feldemissionen und Arbeitsverfahren inklusive der Dieselverbräuche sind im Anhang in Tabelle 54 bis Tabelle 59 dargestellt.

Als Nachernteprozess wurde die Aufreinigung des Ernteguts durch Siebung und Windsichtung berücksichtigt. Dafür wurde der benötigte Maschineneinsatz von 0,02075 kg pro Tonne Erntegut nach der Vorgehensweise der ecoinvent-Datenbank [115] berechnet, wobei Standardwerte für die Absetzung für Abnutzung (AfA) angenommen wurden [38]. Der Stromverbrauch von 0,78514 MJ pro Tonne Erntegut wurde aus dem Durchsatz und der elektrischen Leistung eines typischen Universalreinigers [1] und eines Windsichters [149] berechnet.

Die Berechnung der Feldemissionen für Lachgas und Nitrat basierte auf dem Berechnungsstandard des Nationalen Klimainventars [157].

Bei den **Lachgasemissionen** wird hierzu zwischen direkten und indirekten Emissionen unterschieden. Direkte Emissionen ergeben sich unmittelbar aus der Nutzung des Bodens: bei der Ausbringung von stickstoffhaltigen Düngern und durch Ernte- und Wurzelrückstände auf dem Feld. Indirekt entsteht Lachgas auch als Sekundärfolge: nach Deposition von reaktivem Stickstoff und infolge von Stickstoffauswaschung.

Für die Berechnung der direkten Lachgasemissionen aus Stickstoffdüngern wurde die Menge an ausgebrachten Stickstoffdüngern mit einem Emissionsfaktor von 0,0088 kg N<sub>2</sub>O-N/kg N multipliziert. Für die direkten Lachgasemissionen aus Ernte- und Wurzelrückständen wurde die Menge des zur Verfügung stehenden Stickstoffs sowohl in den oberirdischen als auch in den unterirdischen Biomasse-Rückständen berechnet und ebenfalls mit dem Emissionsfaktor von 0,0088 kg N<sub>2</sub>O-N/kg N multipliziert. Die oberirdischen Ernterückstände ( $m_{N,AGR}$ ) und die unterirdischen Wurzelrückstände ( $m_{N,BGR}$ ) berechneten sich wie in den Formeln (4.5) und (4.6) gezeigt.

$$m_{N,AGR} = y * a_{above} * X_{N,above} \quad (4.5)$$

$$m_{N,BGR} = y * (x_{Y,DM} + a_{above} * X_{AGR,DM}) * a_{below,bio} * X_{N,below} \quad (4.6)$$

Die verwendeten Parameter sind in Tabelle 24 aufgelistet und beschrieben. Für die Kulturen Leindotter und Saflor wurden die Angaben von Raps bzw. Sonnenblume verwendet.



**Tabelle 24:** Beschreibung der Parameter für die Berechnung der direkten Lachgasemissionen aus Ernte- und Wurzelrückständen [132]

Parameter	Beschreibung	Quelle
y	Ertrag in t FM/ha	[39] [95]
a <sub>above</sub>	Stroh-Korn-Verhältnis in t FM (Stroh)/t FM (Korn)	[39] [95]
X <sub>N,above</sub>	Stickstoffgehalt der oberirdischen Ernterückstände in kg N/t FM	[39] [95]
X <sub>y,DM</sub>	Trockenmassegehalt des Ernteprodukts in kg TM/kg FM	[39] [95]
X <sub>AGR,DM</sub>	Trockenmassegehalt der Erntereste in kg TM/kg FM	[39] [95]
a <sub>below,bio</sub>	Verhältnis von unterirdischen Ernte- und Wurzelrückständen zur oberirdischen Biomasse in kg TM/kg TM	[157]
X <sub>N,below</sub>	Stickstoffgehalt der unterirdischen Ernte- und Wurzelrückstände in kg N/kg TM	[39] [95]

Für die indirekten Lachgasemissionen aus Deposition reaktiven Stickstoffs wurden die relevanten Ammoniak- (NH<sub>3</sub>) und Stickstoffmonoxid-Emissionen (NO) durch die Ausbringung von Stickstoffdüngern mit dem Emissionsfaktor von 0,01 kg N<sub>2</sub>O-N/kg NH<sub>3</sub>-N bzw. kg NO-N multipliziert. Die indirekten Lachgasemissionen aus Stickstoffauswaschung in Form von Nitrat wurden ebenfalls so berechnet, allerdings mit dem Emissionsfaktor von 0,011 kg N<sub>2</sub>O-N/kg Nitrat-N. Die detaillierte Beschreibung zur Berechnung der Stickstoffauswaschung ist weiter unten beschrieben.

Zur Ermittlung der gesamten Lachgasemissionen wurde anschließend die Summe aller direkten und indirekten Lachgasemissionen gebildet.

Die Feldemission für **Nitrat** wurde anhand des potenziellen Stickstoffüberschusses berechnet. Dafür wurden alle Stickstoff-Inputs des Anbaus aufsummiert und die Stickstoff-Outputs, die v. a. durch die Entzüge bei der Ernte entstehen, abgezogen. Die Stickstoff-Inputs beinhalteten die Menge an Stickstoffdüngern, Stickstoff, der in ober- und unterirdischer Biomasse enthalten ist, sowie den N<sub>min</sub> zum Erntezeitpunkt. Die Outputs setzten sich aus dem bei der Ernte abgefahrenen Stickstoff sowie den volatilen Ammoniakemissionen zusammen. Bei einem positiven Bilanzergebnis, also einem Stickstoff-Überschuss, wurde dieser Wert mit dem für Bayern regionalspezifischen Emissionsfaktor von 0,23 kg Nitrat-N/kg N multipliziert [156].

#### 4.8.4 Wirkungsabschätzung

Mit der Wirkungsabschätzung werden die in der Sachbilanz erfassten Emissionen und Ressourcenverbräuche den jeweiligen Umweltwirkungen bzw. Wirkungskategorien zugeordnet und anhand von Charakterisierungsmethoden in sogenannte Wirkungsindikatorwerte überführt. Die Auswahl der Wirkungskategorien, Wirkungsabschätzungsmethoden und Indikatoren muss nach den Vorgaben der ISO 14044 [52] auf die Zieldefinition sowie auf die vorhandene Datengrundlage abgestimmt sein und ausführlich erläutert werden.

Da die Zieldefinition von MixNawaRo den Vergleich der Anbauvarianten als Klimaschutzmaßnahme beinhaltete, stand insbesondere die Wirkungskategorie Klimawandel bzw. die Treibhausgasemissionen im Vordergrund der Auswertungen. Überdies bilden im Anbau landwirtschaftlicher Kulturen die Problematik der Stickstoffverluste und die Auswaschung von Nitrat einen relevanten und vieldiskutierten Faktor. Auf Basis der vorhandenen Datengrundlage und genutzten Methoden konnte die potenzielle Nitratauswaschung abgeschätzt werden. Dadurch konnte zusätzlich zum Klimawandel die Wirkungskategorie „marine Eutrophierung“ aufgenommen werden. Die Bewertung der THG-Emissionen basierte auf dem aktuellen wissenschaftlichen Stand und nutzte die Äquivalenzwerte des 6. Sachstandsberichts des IPCC [88]. Die Wirkungskategorie Eutrophierung wurde nach ReCiPe 2016 v1.1 [85] hinsichtlich ihrer Nährstoffeinträge durch Stickstoff und ihrer daraus resultierenden eutrophierenden Wirkung im Wirkungsort Meer (marine Eutrophierung, N-limitiert) bewertet. Dies ermöglichte bei der Gegenüberstellung des Mischanbaus und des Anbaus der Reinkulturen folgende Auswertungen und Bewertungen:

- Klimawandel (Treibhausgas-Emissionen) in Kilogramm Kohlenstoffdioxid-Äquivalente (kg CO<sub>2</sub>-Äq.) nach AR6, IPCC 2021: Climate Change: Total (excl. Biogenic CO<sub>2</sub>) – Global Warming Potential (GWP100).
- Marine Eutrophierung in Kilogramm Stickstoff-Äquivalente (kg N-Äq.) nach ReCiPe 2016 v1.03, Midpoint (H): Eutrophication: Marine.

#### **4.8.5 Auswertung**

Nach DIN EN ISO 14040 [51] und 14044 [52] sollen entsprechend den Zielsetzungen in der Auswertung Schlussfolgerungen aus Ergebnissen der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung gezogen werden, um weitergehende Empfehlungen ableiten zu können.

Im Projekt MixNawaRo wurden zunächst relevante Parameter identifiziert. Als relevante Parameter gelten die Emissionsquellen, die Stellschrauben in Form von Mechanismen oder Einflussgrößen beschreiben, die für die Höhe der gesamten Emissionen ausschlaggebend sind und in den Auswertungen betrachtet werden müssen. Für die Auswertung wurden die unterschiedlichen Emissionsquellen beim Anbau und auch in der Vorkette (z. B. Herstellung von Traktoren, Herstellung von Düngemitteln, Elektrizität, Dieselerbrennung, Feldemissionen, ...) gruppiert. In Tabelle 25 sind die Gruppen der Emissionsquellen aufgeführt und genauer beschrieben.

Tabelle 25: *Gruppierte Emissionsquellen und Definition Emissionsquellen*

Bezeichnung	Beschreibung
Feldemission: Lachgas	Emissionen durch die Entstehung von direkten und indirekten Lachgasemissionen beim Anbau der Kulturen
Feldemission: Nitrat	Emissionen durch die Auswaschung von Nitrat beim Anbau der Kulturen
Herstellung von Düngemitteln	Emissionen, die bei der Produktion von Stickstoffdüngern entstehen
Herstellung von Pflanzenschutzmitteln	Emissionen, die bei der Produktion von Pflanzenschutzmitteln entstehen
Herstellung von Saatgut	Emissionen, die bei der Produktion von Saatgut entstehen
Herstellung von Diesel	Emissionen, die bei der Produktion von Diesel entstehen
Direkte Emissionen bei Arbeitsverfahren	Emissionen, die direkt bei den Arbeitsverfahren, vor allem durch die Verbrennung des Kraftstoffs, entstehen
Investitionsgüter und Elektrizität	Emissionen die durch die Verwendung der Investitionsgüter, wie Traktoren, Maschinenhallen und Geräte, aber auch durch die Bereitstellung der Elektrizität bei der Aufbereitung des Ernteguts entstehen

Für die Identifikation relevanter Parameter wurden Versuche aus dem Anbaujahr 2025 gewählt, da nur in diesem Jahr chemischer Pflanzenschutz angewandt wurde und somit der Einfluss von Pflanzenschutzmaßnahmen auf die Treibhausgasemissionen und die marine Eutrophierung dargestellt werden konnte. Da für die Sojabohne in diesem Jahr keine Ertragsergebnisse verfügbar waren (vgl. 5.5), wurden für diese Kultur die Daten von 2024 dargestellt. Die Auswahl der betrachteten Varianten ist in Tabelle 26 beschrieben.

**Tabelle 26:** *Auswahl der Anbausysteme zur Identifikation relevanter Parameter mit vereinfachter Bezeichnung und Bezeichnung im Versuchsaufbau*

	Vereinfachte Bezeichnung	Versuchsbezeichnung
Reinkulturen	Ackerbohne, chem. Pflanzenschutz	2025_BA-N+PSM, Ernte 2
	Sojabohne, mech. Pflanzenschutz (2024)	2024_SJ-N+mech
	Leindotter, N-Düngung, chem. Pflanzenschutz	2025_LND+N+PSM, Ernte 1 (EF)
	Leindotter, ohne N-Düngung, mech. Pflanzenschutz	2025_LND-N+mech, Ernte 1 (EF)
Gemenge	Ackerbohne-Saflor-Gemenge	2025_Standard BA/SFL Kreuzacker
	Erbse-Leindotter-Gemenge	2025_Standard EF/LND Kreuzacker
	Sojabohne-Saflor-Gemenge (2024)	2024_Standard SJ/SFL Brunnenfeld

Diese Auswahl wurde nach Sichtung der ersten Ergebnisse getroffen. Da sowohl bei Erbse als auch bei Ackerbohne nur geringe Unterschiede in den relevanten Parametern festgestellt wurden, wurde exemplarisch für beide Leguminosen der Anbau von Ackerbohnen dargestellt und dieser damit als repräsentativ für beide Kulturen angenommen. Für Leindotter wurde eine gedüngte Variante mit einer ungedüngten Variante verglichen. Ebenso wie bei Ackerbohne und Erbse wurde Saflor nicht gesondert dargestellt, da die Verteilung der relevanten Parameter mit Leindotter vergleichbar war.

#### 4.9 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mithilfe des Programms SAS durchgeführt. Da es sich ausschließlich um vollrandomisierte Blockanlagen handelte, wurden ein- oder zweifaktorielle Varianzanalysen mit der Prozedur GLM oder MIXED [114] verwendet. Über die Ausgabe der Residuen wurde die Normalverteilung geprüft. Wenn keine Normalverteilung vorherrschte, wurde ein Ausreißer-Test mit dem Befehl ROBUSTREG durchgeführt. Allerdings wurden die meisten Ausreißer, die vom Programm als solche identifiziert wurden, nach manueller Begutachtung in den Daten belassen. Wenn immer noch keine Normalverteilung gegeben war, wurden Wurzel- oder Logarithmus-Transformationen angewandt. Im Anschluss folgte der Mittelwertvergleich nach Tukey mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %. Je nach Verteilung und Skalenniveau wurden die Korrelationsanalysen nach Spearman oder Pearson verwendet. Als Ausgabe wurde eine Korrelationsmatrix erstellt, die den Korrelationskoeffizienten ( $r$ ) zwischen den gewünschten Merkmalen darstellt. Der Korrelationskoeffizient liegt stets zwischen  $-1$  und  $1$  und gibt den linearen Zusammenhang

---

zwischen zwei Variablen an. Je näher  $r$  an 0 liegt, desto geringer ist der lineare Zusammenhang. Das Vorzeichen gibt an, ob die Variablen positiv oder negativ korreliert sind.



## 5 Ergebnisse und Diskussion

Nachfolgend werden die Ergebnisse zur Bestandsentwicklung und Wuchshöhe, zum Vorkommen von Beikräutern, Krankheiten und Schädlingen sowie die Einflüsse der Witterung vorgestellt. Im Anschluss werden Ergebnisse zu Kornerträgen und -qualitäten, der Möglichkeit einer gemeinsamen Ernte, etwaige Schwierigkeiten beim Drusch sowie die ökologische Bewertung vorgestellt und diskutiert. In Kapitel 6 werden Empfehlungen für die Praxis gegeben.

Ein Großteil der Versuche im Jahr 2023 wurde bereits am 07.07.2023 aufgegeben, da der Feldaufgang der Leguminosen Ende Juni unter 10 % lag und sich gleichzeitig Beikräuter ausgebreitet hatten. Die Bestandsdichten waren viel zu gering, die Pflanzenentwicklung durch den hohen Beikrautdruck verzögert. Der Umbruch war nötig, um die Vermehrung der Beikräuter und eine Anreicherung des Samenpotenzials auf der Versuchsfläche zu verhindern.

Durch den hohen Beikrautdruck auf der Fläche im Jahr 2025 mussten Varianten der Erbsen- und Ackerbohnen-Versuche mit engem Reihenabstand, und damit ohne Möglichkeit einer mechanischen Beikrautregulierung, umgebrochen werden.

### 5.1 Witterungseinflüsse

Die Witterungsbedingungen haben maßgeblich Einfluss auf die Pflanzenentwicklung. Im Leguminosenanbau ist die Deckung des Wasserbedarfs zur Blüte entscheidend, um einen ausreichenden Kornansatz sicherzustellen und ein Abwerfen der Blüten zu verhindern. Im Mischanbau mit gleichzeitiger Ernte der Gemengepartner ist das geeignete Erntefenster im Vergleich zur Reinsaat eingeschränkt. Dadurch ergibt sich für den Mischanbau eine noch stärkere Abhängigkeit von der Witterung für eine erfolgreiche Ernte als in Reinkulturen.

Die Witterungsbedingungen für die Aussaat im Frühjahr 2023 waren problematisch. Es war lange feucht, weshalb der Boden nur für kurze Zeit befahrbar war. Allerdings wurde ein längeres Zeitfenster benötigt, um die Bodenbearbeitung, die Saatbettbereitung und die Aussaat der Versuche durchführen zu können. Während im April mehr Niederschlag fiel als im langjährigen Mittel, kam es in den Monaten Mai, Juni und Juli zu deutlich geringeren Regenmengen (Abbildung 2). Erst am 09.05. konnten die ersten Versuche (Saatstärkenversuch, Sortenversuch, Gemenge aus drei Kulturen) unter guten Bedingungen in einen feinkrümeligen und abgetrockneten Boden gesät werden. Allerdings kam es an den Folgetagen erneut zu Niederschlägen und das Saatgut wurde teilweise ausgeschwemmt bzw. der Boden entlang der Saatrillen abgetragen. Die Ackerbohnen Samen befanden sich überwiegend direkt an der Bodenoberfläche. Da es weiterhin regnete, bestand keine Gefahr der Austrocknung. Die restlichen Versuche (Reihenversuche, Reinsaat) sollten direkt im Anschluss an die bereits gesäten Versuche angelegt werden, allerdings war dies aufgrund der zu feuchten Bedingungen nicht möglich. Nach der Saat des zweiten Aussaattermins (20./21.05.) fiel, anders als durch die Wetterprognose vorhergesagt, 18 Tage lang

kein Niederschlag. Die verhärtete Bodenoberfläche beeinträchtigte den Feldaufgang, insbesondere die Leguminosen konnten die Bodenoberfläche größtenteils nicht durchbrechen. Zudem wurde das Saatbett, um bodenschonend zu arbeiten und da für den Folgetag ausreichend Niederschläge vorhergesagt waren, nur flach vorbereitet. Durch diese flache Ablage war das Risiko für einen schlechten Feldaufgang bei Trockenheit zusätzlich erhöht. In den ersten vier Wochen nach Saat waren insgesamt lediglich 13,6 mm Niederschlag zu verzeichnen. Mitte Juni fielen Niederschläge, jedoch führten diese nicht zum Auflaufen der Leguminosen (Abbildung 9). Auch die Pflanzen des ersten Saattermins litten unter der anhaltenden Trockenheit und entwickelten sich verlangsamt. Im Juni, und damit zum Zeitpunkt der Blütenentwicklung, stand mit einem Niederschlag von 32,4 mm besonders wenig Wasser für die Pflanzen zur Verfügung. Dies hatte deutliche Auswirkungen auf deren Entwicklung. Außerdem zeigten sich vermehrt Krankheiten und Welkeerscheinungen bei Ackerbohne, aber auch bei Erbse und Sojabohne. Durch die witterungsbedingt bereits sehr späten Aussaattermine im Mai, angestrebt worden waren Ende März und April, bestand zeitlich keine Möglichkeit mehr, die Versuche Anfang Juni umzubrechen und nochmals neu auszusäen. Im August war die Niederschlagssumme mit 161,5 mm doppelt so hoch wie im langjährigen Mittel. Dies beeinflusste die Abreife und erschwerte die Ernteplanung erheblich. Die schwierigen Bedingungen waren bayernweit gegeben. In den Landdessortenversuchen wurden die geringsten Erbsen- und Ackerbohnenenerträge seit vielen Jahren dokumentiert [84].





**Abbildung 9:** Ausbleibender Feldaufgang der Leguminosen-Reinsaaten Erbse (EF) und Ackerbohne (BA) im Vergleich zu den Ölfrüchten Saflor (SFL) und Leindotter (LND) durch fehlende Niederschläge nach verspäteter Saat am 20./21.05.2023, Aufnahme vom 31.07.2023

Im zweiten Versuchsjahr 2024 fiel im Januar mit 72 mm überdurchschnittlich viel Niederschlag, insbesondere im Vergleich zum Vorjahr. Februar, März und April waren dagegen trockener. Die Gemenge mit Erbsen und Ackerbohnen wurden leicht verspätet Anfang April und die mit Sojabohne Mitte Mai gesät. Durch ausreichende Niederschläge in den nächsten Wochen war ein zufriedenstellender Aufwuchs zu beobachten. Die andauernden, hohen Niederschläge in der zweiten Mai-Hälfte führten Anfang Juni zu Überflutungen und Staunässe, die Teile der Ackerbohnen-Versuche betrafen (Abbildung 10). Vor allem die Wiederholung 1 und 2 des Saatstärken- und Sortenversuchs standen zeitweise unter Wasser. Saflor zeigte deutliche Stresssymptome, während die Ackerbohnen weniger stark beeinflusst wurden (Abbildung 11) und sich zügig erholten. Nachdem der Boden abgetrocknet war, bildeten sich aufgrund der Verschlammung Krusten an der Bodenoberfläche. Um den Boden aufzubrechen, zu belüften und die Mineralisation zu fördern, wurde daher in allen Versuchen erneut gehackt. Bereits wenige Tage danach zeigte sich ein optischer Unterschied in der Vitalität der Pflanzen. Moderate Niederschläge im Juni und Juli kamen

den Leguminosen zugute, wohingegen die Ölpflanzen durch die vorherige Staunässe und weiterhin feuchten Bedingungen litten. Die Niederschläge während der Blüte der Erbsen (43 mm), Ackerbohne (76 mm) und Sojabohne (43 mm) waren gering. In der Kornfüllung waren sie für Erbse (95 mm) und Ackerbohne (98 mm) ebenfalls gering. Für Sojabohne fielen mit 186 mm ausreichend Niederschläge während der Kornfüllungsphase. Da keine Daten zur Wassersättigung des Bodens vorhanden sind, ist eine genaue Abschätzung, ob die Niederschläge den Wasserbedarf vollständig gedeckt haben, nicht möglich. Im August waren durch geringere Niederschläge als im Vorjahr deutlich stabilere Bedingungen zum Dreschen vorhanden. Im September fielen die Niederschläge wieder etwas höher aus und verzögerten die Ernte der Gemenge mit Sojabohne. Der ideale Erntetermin für Leindotter und Saflor konnte dadurch in diesen Gemengen nicht realisiert werden. Leindotter war bereits größtenteils ausgefallen. Die Saflor-Körbchen hatten sich durch die Niederschläge mit Wasser vollgesogen und trockneten nicht mehr ab. Dies führte zur Keimung der Körner noch auf der Pflanze (Abbildung 12).

Im letzten Versuchsjahr 2025 waren die Bedingungen für die Aussaat gut, alle Kulturen wurden zum idealen Zeitpunkt gesät. Die Entwicklung verlief allerdings aufgrund kühler Bedingungen mit teilweise noch Minusgraden Anfang April zögerlich. In den Monaten März bis Mai fielen zusammen nur 62 mm Niederschlag. Und auch in den Monaten vor der Saat regnete es wenig. Ende April zeigte sich zunehmend eine mangelnde Vitalität der Leguminosen durch Trockenstress. Die Ölpflanzen wiesen keine Stresssymptome auf. Anfang Mai regnete es und die Temperaturen nahmen ab. Mit noch geringeren Niederschlagsmengen während der Leguminosenblüte als im Vorjahr (Erbse: 37 mm, Ackerbohne: 40 mm, Sojabohne: 34 mm) ist von Trockenstress auszugehen, zumal es in den Monaten vor der Blüte bereits deutlich trockener war. Erst Ende Juni ließen sich moderate Niederschläge verzeichnen. Die Blüte von Erbse und Ackerbohne war dann bereits abgeschlossen. In der Kornfüllungsphase standen ausreichend Niederschläge (145 mm, 149 mm und 150 mm) zur Verfügung. Durch die nassen Bedingungen im Juli verzögerte sich die Ernte der Erbsen/Leindotter-Gemenge. Dies führte zu geringen Ertragsverlusten durch Ausfall. Die Niederschläge im Juli, zur Zeit der Saflorblüte, hatten negative Auswirkungen auf dessen Anbauerfolg. Der mit Sojabohne und damit später gesäte Saflor bildete deutlich kleinere Körbchen, die Körner waren kleiner und viele von ihnen nicht gefüllt. Saflor, der mit Ackerbohne etwas früher gesät worden war, litt ebenfalls unter den anhaltenden Niederschlägen, allerdings hatten diese aufgrund der bereits weiter vorangeschrittenen Entwicklung weniger Einfluss auf die Kornfüllung. Durch die anhaltende Feuchtigkeit in den Körbchen wurde Anfang August der Befall mit Insektenlarven, die sich vom oberen Teil des Stängels hoch in den Blütenstand gefressen hatten, beobachtet (vgl. 5.4.3). Die Körner wiesen allerdings keine Fraßschäden auf. Die Saflor-Körbchen trockneten bis Mitte August ab und das Gemenge mit Ackerbohne konnte am 19.08. geerntet werden. Mit den Niederschlägen Ende August saugten sich die Saflor-Körbchen im Gemenge mit Sojabohne wieder mit Wasser voll und trockneten bis in den September nicht ab. Der Saflor wuchs wieder aus, wenn auch in geringerem Ausmaß als 2023 und 2024.





*Abbildung 10: Staunässe im Gemenge Ackerbohne/Safflor am 03.06.2024 durch langanhaltende Niederschläge mit Überschwemmungen des Versuchs Ende Mai*



*Abbildung 11: Auswirkungen der Staunässe auf das Ackerbohnen/Safflor-Gemenge am 11.06.2024*



Abbildung 12: Safflor-Auswuchs bei später Ernte im Gemenge mit Sojabohne 2024

## 5.2 Beikraut

2023 war die Verteilung der Beikräuter auf der Fläche zu Vegetationsbeginn heterogen. Der Beikrautdruck nahm auf der Fläche „auf der Platte“ von der nördlichen hin zur südlichen Stirnseite ab. Im nördlichen Bereich befand sich der Versuch zu den Gemengen mit drei Mischungspartnern. Dort war Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album* L.) stark vertreten, der allgemein auf der gesamten Fläche vermehrt auftrat. Des Weiteren waren sowohl im gesamten ersten Block als auch im zweiten Block in den Sojaversuchen Knötericharten, insbesondere Ampferblättriger Knöterich (*Persicaria lapathifolia* L.), präsent. Auf allen Flächen ließen sich außerdem Geruchlose Kamille (*Matricaria perforata* L.), Ehrenpreis (*Veronica persica* L.), Hirtentäschel (*Capsella bursa-pastoris* L.), Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense* L.), Amarant (*Amaranthus retroflexus* L.) und verschiedene Gräser finden. Die Altverungrasung war in der Mitte des ersten Blocks besonders stark und wurde auf der gesamten Fläche des ersten Saattermins mit Focus (vgl. 4.3) behandelt.

In den Beständen des zweiten Saattermins blieben die Leguminosen im Auflauf und ihrem Wachstum deutlich zurück. Die Ölpflanzen, insbesondere Safflor, zeigten zwar eine zufriedenstellende Etablierung, boten allein aber wenig Konkurrenz gegenüber Beikräutern. Die lückigen Bestände, verstärkt in den Varianten des zweiten Saattermins, und die konkurrenzschwachen Kulturpflanzen hatten eine zunehmende Ausbreitung von Knöterich und Gänsefuß zur Folge. Allerdings waren auch an den Beikräutern Symptome von Trockenstress und Befall mit Krankheiten und Schädlingen, z. B. Blattläusen, zu beobachten.



Aufgrund des Wassermangels (vgl. 5.1) waren einige der Kulturpflanzen bereits Mitte Juni in der generativen Phase. Nachdem zwei Wochen lang Niederschlag gefallen war, kam es zu einem Wachstumsschub von Weißem Gänsefuß und Knöterich. Gleichzeitig fand bei den Kulturpflanzen kein Längenwachstum mehr statt. So entwickelte sich eine hohe Verunkrautung über die gesamte Versuchsfläche (Abbildung 13).

Da die Versuche 2023 in engen Reihen angelegt worden waren, um die kultureigene Beikrautunterdrückung, insbesondere der Ölfrüchte, zu nutzen, war eine mechanische Beikrautregulierung nicht möglich. Letztendlich war dies, zusammen mit dem hohem Versuchsfehler und nicht repräsentativen Erträgen, der Grund für den Umbruch der Versuche. Eine Vermehrung der Beikräuter mit Anstieg des Samenvorrats auf der Versuchsfläche sollte so möglichst geringgehalten werden. Gemenge mit Saflor zeigten sich etwas besser in der Beikrautunterdrückung als die anderen Mischungen. Das ist auf dessen bessere Entwicklung, höhere Trockentoleranz, ausladende Wuchsform und somit stärkere Konkurrenzkraft zurückzuführen. Im Gemenge schafften es weder Leindotter noch Saflor, die unzureichende Etablierung der Leguminosen auszugleichen und zuverlässig die Beikräuter zu unterdrücken. Dieses Jahr zeigte, dass die Ölfrüchte unter ungünstigen Bedingungen keine ausreichende Beikrautunterdrückung leisten, und es wichtig ist, sich die mechanische Beikrautregulierung offenzuhalten. Daraufhin wurden die Versuche für die nächsten zwei Jahre mit größerer Reihenweite angelegt.



Abbildung 13: Flächige Verunkrautung mit Weißem Gänsefuß im Jahr 2023

Im Jahr 2024 wurde für den Großteil der Versuche ein Standort („Die Frei“) mit geringem Beikrautdruck gewählt. Zur Aussaat und auch die ersten Wochen nach Saat war die Fläche frei von Beikraut. Die Kulturpflanzen waren in der Lage, einen Wachstumsvorsprung aufzubauen. Auf der zweiten Fläche („Brunnenfeld“) war mehr Beikraut vorhanden. Im Laufe der Saison bildete sich auf der Frei ein geringfügiger, homogener über die Fläche verteilter Bewuchs von Kletten-Labkraut (*Galium aparine* L.), Geruchloser Kamille (*Matricaria perforata*), Vogelmiere (*Stellaria media* L.), Roter Taubnessel (*Lamium purpureum* L.), Ehrenpreis (*Veronica persica* L.) und Weißem Gänsefuß (*Chenopodium album* L.). Auf dem Brunnenfeld zeigte sich eine Gesellschaft von Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli* L.), Acker-Hellerkraut (*Thlaspi arvense* L.), Weißem Gänsefuß, Geruchloser Kamille und Knöterich-Arten. Unterschiede zwischen den Varianten im Beikraut-Deckungsgrad und deren Zusammensetzungen waren nicht erkennbar. Allerdings zeichneten sich auf der Frei Fahrspuren ab, in denen die Wuchsdichte bei allen Kulturen, außer Saflor, aufgrund der Bodenverdichtungen geringer war (Abbildung 14). In den entstehenden Lücken konnten sich Beikräuter besser entwickeln, ein hoher Beikrautdruck entstand allerdings nicht. In den Versuchen mit Sojabohne kam es zu einer Spätverunkrautung mit Gräsern, Schadhirse, Weißem Gänsefuß und Ampferblättrigem Knöterich (*Persicaria lapathifolia* L.). Unterschiede zwischen Varianten wurden nicht beobachtet. Der letzte Hackdurchgang fand am 08.06. statt. Es wurden weitere zwei Durchgänge mit der Handhacke durchgeführt, um ein Aussamen der Beikräuter und eine Vermehrung auf der Fläche zu vermeiden. So musste kein Versuch umgebrochen werden.



*Abbildung 14: Lücken im Pflanzenbestand aufgrund von Fahrspuren auf der Fläche „Die Frei“ Anfang Juni 2024*

2025 liefen ab Mitte April auf der Fläche mit Erbse und Ackerbohne („Kreuzacker“) immer mehr Beikräuter, insbesondere Weißer Gänsefuß, auf. Der Boden-Samenvorrat war aufgrund starken Besatzes mit Weißem Gänsefuß im vorherigen Herbst hoch. Als Zwischenfrucht wurde im Herbst Roggen gesät, der vor der Saat gefräst wurde. Es wurde daher mit Roggen-Durchwuchs und der nötigen Herbizid-Behandlung (vgl. 4.3) gerechnet. Der erste Hackeinsatz wurde erst am 22.04. durchgeführt, damit das zuvor ausgebrachte Fusilade gegen den Durchwuchs seine volle Wirkung entfalten konnte. Der Hackeinsatz bekämpfte Beikräuter zwischen den Reihen für mehrere Wochen zuverlässig. Einige Gänsefuß-Pflanzen standen eng an oder direkt in der Reihe und wurden durch die Hacke nicht erfasst (Abbildung 15). Diese wurden auf der gesamten Versuchsfläche per Hand bestmöglich entfernt. Nach wenigen Wochen kamen erneut Gänsefuß-Pflanzen durch. Ein maschineller Hackeinsatz war, ohne hohe Schäden an den Kulturpflanzen zu verursachen, nicht mehr möglich. Daher wurde die Fläche erneut per Handhacke bearbeitet. Varianten mit engem Reihenabstand und damit ohne Möglichkeit eines maschinellen Hackeinsatzes waren, unabhängig der Gemengepartner, stark verunkrautet (Abbildung 16). Bei dem Versuch, Parzellen mit engem Reihenabstand (16 cm) mit der maschinellen Hacke zu bearbeiten, wurde der Großteil der Kulturpflanzen, trotz großer Vorsicht, beschädigt. Die entstandenen Lücken (Abbildung 17) boten ideale Voraussetzungen für das Wachstum von Beikräutern. Diese Parzellen mussten größtenteils aufgegeben werden, da selbst bei vorsichtiger Verwendung der Handhacke Kulturpflanzen beschädigt wurden. Weder die Saatstärken der Gemengepartner noch die Leguminosen-Sorte hatten Einfluss auf das Beikraut-Vorkommen. Wie im Jahr 2023 zeigte sich die bessere Konkurrenzkraft von Saflor im Vergleich zu Leindotter und von Ackerbohne im Vergleich zur Erbse aufgrund besserer Beschattung. In den Reinsaaten wurden einzelne Parzellen („+PSM“) mit einem Vorauf-laufherbizid behandelt (vgl. 4.3). Weißer Gänsefuß wurde dadurch im Vergleich zu nicht behandelten Parzellen unterdrückt, hier waren keine weiteren Maßnahmen in den Parzellen mit chemischem Pflanzenschutz notwendig.

Auch in den Sojaversuchen wurde beobachtet, dass in Gemengen mit Saflor der Beikrautdruck geringer war als mit Leindotter. Allgemein entwickelten sich die Sojabohnen im Gemenge, unabhängig vom Gemengepartner, schlechter als in Reinsaat. Durch den geringen Wuchs der Sojabohnen und die im Gemenge reduzierte Saatstärke der Ölfruchte erhielten Beikräuter ausreichend Licht, Raum und Wasser, um sich auszubreiten. Zwischen den Sojabohnensorten wurden Unterschiede im Beikrautdruck dokumentiert, da diese insbesondere mit der Wüchsigkeit der Sorte und damit der Konkurrenzkraft in Verbindung



standen. Außerdem zeigte sich ein verstärkter Besatz mit Hühnerhirse in Wiederholung 4 des Sortenversuchs. In der kurz vor der Ernte durchgeführten Beikrautbonitur wurde der höchste Wert für die Sorte Sussex ermittelt (Boniturnote 4,8). Auch in Parzellen der Sorte ES Comandor war der Beikrautdruck hoch (4,3). Für Ascada, Acardia und Adelfia lag er bei 3,8 und für ES Compositor bei 3,5. Für Sahara war er mit 2,8 am geringsten. Die Schwankungen zwischen den Wiederholungen waren hoch (1,0–2,1), daher können lediglich Tendenzen zwischen den Sorten benannt werden.

Klar zu beobachten war der zunehmende Beikrautdruck, je geringer der Bewuchs des Gemenges war, wodurch die bekannte Bedeutung einer zügigen und gleichmäßigen Pflanzenentwicklung bei Leguminosen für den Anbauerfolg verdeutlicht wurde. Dies gilt ebenso für Gemenge. Die in anderen Studien festgestellte verbesserte Beikrautunterdrückung im Gemenge Erbse/Leindotter im Vergleich zu den Reinsaaten [124] [121] [116], wurde in den Versuchen dieses Projekts nicht beobachtet.



Abbildung 15: Weißer Gänsefuß innerhalb der Saatzeilen nach dem Hacken 2025





*Abbildung 16: Weißer Gänsefuß im Gemenge Erbse/Leindotter mit engem Reihenabstand (16 cm) ohne mechanische Beikrautregulierung am 21.05. (links) und nicht gemulchte Parzelle am 23.07. (rechts)*



*Abbildung 17: Lücken im Bestand aufgrund Beschädigung der Kulturpflanzen durch Einsatz der Hacke in Parzellen mit engem Reihenabstand (16 cm)*

### **5.3 Versuche mit Erbse**

#### **5.3.1 Entwicklung**

Die Entwicklung der Reinsaaten verlief stets analog zu den Gemengen.

Im ersten Versuchsjahr lag der Feldaufgang des ersten Saattermins (Saatstärken- und Sortenversuch) der Erbsen je nach Sorte bei 81 % (Astronaute), 83 % (Respect) und 84 % (Salamanca). Die Varianten des zweiten Saattermins (Reihenversuch, Reinsaaten) liefen bis auf Einzelpflanzen nicht auf (Abbildung 18). Zusätzlich wurden die meisten der wenigen vorhandenen Pflanzen von Saatkrähen aus der Erde gezogen. Von den gesäten Saflorpflanzen liefen 86 % auf. Der Feldaufgang von Körnerhanf des ersten Saattermins 2023 lag bei 71 %. Die Pflanzen des zweiten Saattermins liefen nur vereinzelt auf. Die Blüte der Erbse dauerte vom 19.06. bis zum 26.06. (Tabelle 27). Ende Juni begann die Hülsenbildung. Die Pflanzen waren ab Ende Juli erntereif. Ein Drusch war allerdings aufgrund andauernden Regens und nasser Böden nicht möglich. Durch die vorherrschenden Bedingungen entwickelten sich die Beikräuter schnell und überwuchsen die Bestände (vgl. 5.2). Als das Befahren der Fläche wieder möglich war, war der Großteil der Hülsen bereits geöffnet (Abbildung 19). Die beibehaltenen Parzellen wurden am 17.08. geerntet.

2024 erzielten alle Erbsensorten in Kombination mit Leindotter einen Feldaufgang über 95 %. Im Reihenversuch liefen 84 % der Erbsen bei der Kombination mit Saflor und 89 % mit Hanf auf. Der Feldaufgang der Ölfrüchte im Gemenge lag bei 67 % Leindotter, 72 % Saflor und 66 % Hanf. Die Erbsen gingen Anfang Juni vom Längenwachstum in die Blütenanlage über und erreichten am 05.06. die Vollblüte (BBCH 65). Während der Blüte waren 43 mm Niederschlag zu verzeichnen. Im Juni fand die Fruchtentwicklung statt. Die Kornfüllung zog sich vom 19.06. bis zum 19.07. und erreichte schließlich die Vollreife (BBCH 89).

Von den gesäten keimfähigen Körnern liefen 2025 87 % der Sorte Astronaute, 83 % von Orchestra und 92 % von Symbios auf. Der Feldaufgang von Leindotter im Gemenge lag bei niedrigen 28 bis 31 %, während von Saflor 54 % aufliefen. Die Saatbedingungen waren zwar gut, allerdings wirkte sich die Frühsommertrockenheit negativ auf die Erbsen aus. Während der Blüte vom 20.05. bis zum 04.06. lag der Niederschlag bei 37 mm. In der anschließenden Kornfüllungsphase vom 05.06. bis zum 29.07. waren es 145 mm. Diese Phase fiel länger aus als im Jahr 2024. Aufgrund zu feuchter Bedingungen musste wie 2023 verspätet geerntet werden und es waren bereits Körner ausgefallen. Die Kombination mit Erbse/Leindotter wurde am 29.07. geerntet und verzeichnete einen geschätzten Ausfallverlust von 35 % Erbsen und 5 % Leindotter. Im Gemenge Erbse/Saflor, das am 08.08. geerntet wurde, waren die Verluste mit bis zu 70 % bei den Erbsen sehr hoch.

In allen Jahren wurde die Stützwirkung durch den Leindotter auf die Erbse beobachtet. In der Erbsen-Reinsaat wurde eine erhöhte Neigung zu Lager, insbesondere während der Abreife, festgestellt. Die Stützwirkung war in Beständen mit engem Reihenabstand stärker als in weiten Reihen.





*Abbildung 18: Ausbleibender Feldaufgang der Erbsen (Reihen 2, 4, 6 und 8) im Gemenge mit Saflor bei später Saat (Reihenversuch) im Jahr 2023*



*Abbildung 19: Aufgeplatzte Erbsenhülsen und Ausfall aufgrund verzögerter Ernte 2023*

**Tabelle 27:** *Entwicklung der Erbsen, Blüte entspricht BBCH 60 bis 69, Kornfüllung entspricht BBCH 70 bis 89*

	2023	2024	2025
Aussaat	09.05. (bzw. 20./21.05.*)	08./09.04.	20./21.03.
Blüte	19.06.–26.06.	05.06.–18.06.	20.05.–04.06.
Kornfüllung	17.06.–24.07.	19.06.–19.07.	05.06.–29.07.

\* Witterungsbedingter, verspäteter Saattermin des Reihen- und Reinsaatversuchs; Blüte und Kornfüllung beziehen sich auf ersten Termin

Mit seiner frühen Blüte lieferte Leindotter ein gutes Nahrungsangebot für Insekten. Im Jahr 2023 war ein Blühzeitraum vom 19.06 bis zum 03.07. zu beobachten (Tabelle 28). In den Varianten mit aufgestreutem Leindotter (nur 2023) im Anschluss an die Leguminosen-Saat lief er nicht auf, da die Samen wegen ausbleibenden Niederschlags nicht keimten. In den anderen Varianten des ersten Saattermins war er kurz nach den Erbsen gegen Ende Juli erntereif. Allerdings litt auch er als trockenheitstolerante Kultur unter den Witterungsbedingungen und bildete keine zufriedenstellenden Bestände aus. 2024 war Leindotter bis Mitte Mai in der Blattentwicklung und ging Ende Mai ins Längenwachstum und kurz darauf in die Blütenanlage über. Am 11.06. wurde die Vollblüte festgestellt. Eine Woche später begann die Frucht- und Samenentwicklung. Die Samenreife wurde um den 15.07. erreicht. Im letzten Jahr 2025 war der Feldaufgang sehr gering. Allerdings waren keine Lücken in den Beständen vorhanden. Mitte Mai ging er ins Längenwachstum über und begann Ende Mai mit der Blüte. Darauf folgte die Kornfüllung, die vom 06.06 bis zum 07.08. dauerte.

**Tabelle 28:** *Entwicklung von Leindotter, Blüte entspricht BBCH 60 bis 69, Kornfüllung entspricht BBCH 70 bis 89*

	2023	2024	2025
Saat	09.05. (bzw. 20./21.05.*)	08./09.04.	20./21.03.
Blüte	19.06.–03.07.	27.05.–12.06.	21.05.–05.06.
Kornfüllung	04.07.–27.07.	13.06.–15.07.	06.06. –07.08.

\* Witterungsbedingter, verspäteter Saattermin des Reihen- und Reinsaatversuchs; Blüte und Kornfüllung beziehen sich auf ersten Termin

Der Trockenstress in den Jahren 2023 und 2025 hatte auf Saflor weniger starke Auswirkungen als auf die anderen Kulturen. Er ist als trockenheitstolerante Pflanze bekannt [120], weswegen er trotz der ungünstigen Bedingungen 2023 noch einen zufriedenstellenden Bestand ausbildete. Er überwuchs seine Gemegepartner in allen Varianten und beschattete spätestens zur Blüte die Leguminose. Dies spiegelte sich auch in den Wuchshöhen wider. Im Jahr 2025 gab es zwar ebenfalls eine Frühsommertrockenheit, allerdings fielen

während der Saflorblüte im Juli 2025 viele Niederschläge. Dies führte zur Beeinträchtigung in der weiteren Entwicklung, insbesondere in der Kornanlage und -füllung (vgl. 5.1). Im Jahr 2024 litt er phasenweise unten den andauernden Niederschlägen, die den Leguminosen zugutekamen. Der vergleichsweise späte und lange Blühzeitraum von ca. vier Wochen (Tabelle 29) macht Saflor zu einer insektenfreundlichen Kultur, deren Bestände stark durch Nützlinge frequentiert waren. Zwischen Mitte August (2024, 2025) und Anfang September (2023) erreichte er die Samenreife, deutlich nach der Erbse. Aufgrund anhaltender Niederschläge 2023 waren das Befahren der Fläche und somit die Ernte nicht möglich. Die Parzellen wurden wegen der starken Verunkrautung aufgegeben. Im Jahr 2024 konnte er zusammen mit Erbse gedroschen werden. Im Jahr 2025 ging dies zwar ebenfalls, allerdings war die Erbse in ihrer Entwicklung bereits so weit fortgeschritten, dass es zu hohen Verlusten kam.

*Tabelle 29: Entwicklung von Saflor, Blüte entspricht BBCH 60 bis 69, Kornfüllung entspricht BBCH 70 bis 89*

	2023	2024	2025
Aussaat	09.05. (bzw. 20./21.05.*)	08./09.04.	20./21.03.
Blüte	03.07.–31.07.	09.07.–29.07.	02.07.–29.07.
Kornfüllung	01.08.–Umbruch	30.07.–13.08.	30.07.–19.08.

\* Witterungsbedingter, verspäteter Saattermin des Reihen- und Reinsaatversuchs; Blüte und Kornfüllung beziehen sich auf ersten Termin

Hanf erreichte 2023 früh und bei einer geringen Wuchshöhe die männliche Blüte, die vermutlich durch die Trockenheit und den damit verbundenen Stress sowie Stickstoffmangel ausgelöst wurde. Der frühe Übergang in die generative Phase hatte zur Folge, dass das Längenwachstum früh beendet wurde und die Bestände niedrig blieben. Außerdem zeigte der Körnerhanf einen unzureichenden Feldaufgang, wie er für die Sorte FINOLA häufig beobachtet wird [58]. Er entwickelte sich auch 2024 langsam und konnte im Wachstum nicht mit den Leguminosen mithalten (Abbildung 20). Die Erbsen hielten sich nicht wie erwartet vorrangig am stabilen Hanfstängel fest, sondern an den dünneren Verzweigungen. Seine Blätter wurden teilweise komplett durch die Ranken zusammengefaltet (Abbildung 21), was im Laufe der Entwicklung allerdings zunehmend nachließ. Anfang Mai ging er ins Längenwachstum über. Die männliche Vollblüte wurde Ende Mai festgestellt. Anfang Juni begannen die männlichen Pflanzen abzusterben, während die weiblichen Pflanzen die Vollblüte erreichten. Am 13.08. ließ sich die Vollreife feststellen.





Abbildung 20: *Gemenge Erbse/Körnerhanf (links) und Ackerbohne/Körnerhanf (rechts)*



Abbildung 21: *Hanfblätter werden durch die Erbsenranken gefaltet*

Leindotter zeichnet sich durch eine frühe Samenreife mit gleichzeitig hoher Platzfestigkeit aus. Ein gemeinsamer Erntetermin im Gemenge Erbse/Leindotter war aufgrund simultaner Abreife stets leicht umzusetzen. Dies wird bei der Übersicht zur Entwicklung aller Kulturen (Abbildung 22) deutlich. Die Kombination Erbse/Saflor wurde 2024 ebenfalls gemeinsam geerntet, obwohl die Entwicklung der beiden Kulturen stark zeitversetzt verlief. Als die Erbsen bereits kurz vor der Samenreife standen, war Saflor noch mitten in der Blüte (Abbildung 23). Ein gemeinsamer Termin lässt sich nur für Erbsensorten realisieren, die eine hohe Platzfestigkeit besitzen. Im Jahr 2025 war trotz Platzfestigkeit ein hoher Anteil der Erbsen zum erstmöglichen Erntetermin mit Saflor ausgefallen.

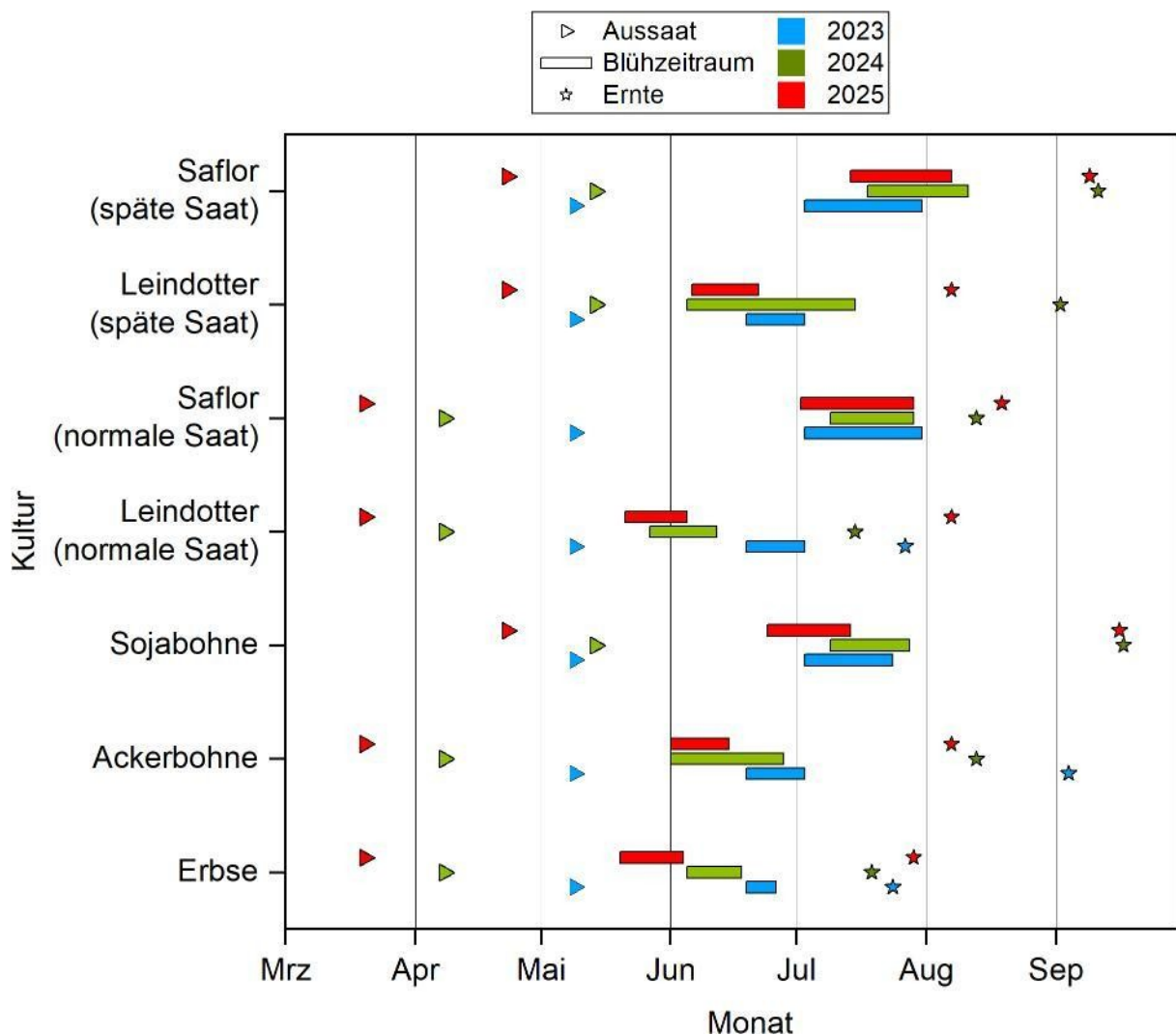


Abbildung 22: Saattermine, Blühzeiträume und Erntetermine von Erbse, Ackerbohne, und Sojabohne sowie Leindotter und Saflor bei normaler Saat (Gemenge mit Erbse oder Ackerbohne) und später Saat (Gemenge mit Sojabohne)





*Abbildung 23: Zeitlich versetzte Abreife von Erbse und Saflor Mitte Juli 2024*

### 5.3.2 Wuchshöhe

Die Wuchshöhe ist für die unterschiedlichen Leguminosensorten genetisch festgelegt. Die relativen Unterschiede der gemessenen Wuchshöhen zwischen den Sorten deckten sich mit den Angaben der Züchter (Tabelle 6).

2023 waren die Erbsen der Sorte Astronaut und Salamanca im Gemenge mit Leindotter mit 45 cm Wuchshöhe kleiner als die der Sorte Respect mit 50 cm. Zu Vegetationsbeginn waren die Erbsen allgemein höher als Leindotter. Das veränderte sich um den Vegetationsstag 35 (Tage nach Saat). Für die Kombinationen mit der Sorte Astronaut gab es die größten Unterschiede zwischen Erbse und Leindotter. Die Höhe der Sorte hatte ebenfalls Einfluss auf die Wuchshöhe von Leindotter: je höher die Erbse desto niedriger der Leindotter. Mit Hanf als Gemengepartner war ebenfalls die Sorte Astronaut mit 42 cm die niedrigste, zwischen den anderen beiden Sorten waren keine Unterschiede erkennbar. Zu Beginn waren die Erbsenpflanzen in den Varianten mit Körnerhanf höher als mit Leindotter. Um den Vegetationstag 42 drehte sich das um und die Erbsen in den Hanf-Varianten waren niedriger als mit Leindotter. Anders als in den Kombinationen mit Leindotter waren die Hanfpflanzen tendenziell kleiner, wenn auch die Erbsenpflanzen kleiner waren. Wuchs ein Partner schlechter, führte dies auch zu einem geringen Wachstum des anderen Partners. Dies deckt sich mit den visuellen Beobachtungen im Vegetationsverlauf: Die Erbsenranken haben sich im Wachstumsverlauf nicht mehr an Hanf festgehalten. Die Wuchshöhe weder von Leindotter noch von Saflor war von der Art der Leguminose abhängig. Hanf wurde in Kombination mit Ackerbohnen höher als mit Futtererbsen. Das ist ein Hinweis darauf, dass sich das Falten der Blätter zu Vegetationsbeginn durch die Erbsenranken



negativ auf die Photosyntheseleistung und somit das Wachstum auswirkte. Im Gemenge mit drei Kulturen waren keine Höhenunterschiede bei Erbsen und Leindotter in den verschiedenen Varianten erkennbar. Weißklee und Phacelia hatten wie zu erwarten keine Auswirkungen auf das Wachstum.

Im Jahr 2024 erreichte Saflor zur Blüte eine Wuchshöhe von 63 cm in Reinsaat, Leindotter wurde 65 cm hoch. Die Erbsen waren zum Zeitpunkt der Blüte durchschnittlich 58 cm hoch. Alle Kulturen in den Erbsen-Gemengen waren in Reinsaat etwas niedriger als im Mischanbau (Tabelle 30). Für Erbsen lässt sich dies durch die Stützwirkung des Gemeengepartners erklären. Für Saflor und Leindotter könnte dies zum einen durch die Neigung von Pflanzen zu erhöhtem Längenwachstum bei dichteren Beständen, zum anderen durch einen Anreiz aufgrund leichter Konkurrenz erklärt werden. Zwischen den Wuchshöhen von Erbse und Leindotter bzw. Saflor gab es keine signifikanten Korrelationen und allgemein sehr geringe Unterschiede zwischen den Varianten. Mit zunehmender Erbsen-Saatstärke (40, 60, 80 Kö/m<sup>2</sup>) nahm auch die Wuchshöhe der Erbsen von 58 auf 60 auf 61 cm zu. Dies ist ebenfalls durch die Stützwirkung und höherer Pflanzendichte zu erklären. Die Leindotter-Wuchshöhen zeigten mit einer Zunahme von 69 auf 71 cm nur geringe Auswirkungen bei steigender Erbsen-Saatstärke. Mit zunehmender Leindotter-Saatstärke nahm die Wuchshöhe von Leindotter von 72 auf 70 cm ab. Es ließen sich positive Korrelationen der Erbsen-Saatstärke mit der Wuchshöhe von Erbse ( $r = 0,488$ ) und Leindotter ( $r = 0,337$ ) feststellen. Im Gemenge Erbse/Saflor waren beide Kulturen in den Varianten mit engen Reihen (16 cm) signifikant höher als bei weiterem Reihenabstand (37,5 cm). Die Erbsen waren 64 und 69 cm, Saflor war 58 und 64 cm hoch. Zwischen den verschiedenen Reihenabständen im Gemenge Erbse/Leindotter waren keine Höhenunterschiede erkennbar. Die Höhen entsprachen in beiden Varianten dem Standard mit 60 cm (Erbse) und 71 cm (Leindotter).

Im Jahr 2025 waren die Erbsen in Reinsaat mit 64 cm etwas höher als im Vorjahr. Dies wurde auch im Sortenversuch beobachtet, in dem Orchestra und Symbios zur Blüte 70 cm und Astronoute 71 cm hoch waren. Im Saatstärkenversuch zeigten sich ähnliche Pflanzenhöhen wie 2024. Sie lagen zwischen 56 und 60 cm. Die Wahl des Gemeengepartners hatte keine Auswirkungen auf die Erbsenhöhe, sowohl mit Leindotter als auch mit Saflor wurden die Erbsen ca. 60 cm hoch. Leindotter war anders als im Vorjahr in der Reinsaat und in den Gemengen gleich hoch. Die höchsten Pflanzen wurden ebenfalls im Sortenversuch dokumentiert. Sie waren durchschnittlich 76 cm hoch, während Leindotter in Reinsaat 71 cm und im Saatstärkenversuch zwischen 69 und 74 cm hoch wurde. Überraschenderweise wurden in weiteren Saatreihen höhere Pflanzen als in engeren Reihen beobachtet.

**Tabelle 30:** Wuchshöhen zur Blüte im Jahr 2024 und 2025 in den Versuchen der Gemenge Erbse/Leindotter (EF/LND) und Erbse/Saflor (EF/SFL) sowie der Reinsaat (S = Saatstärke in Körner/m<sup>2</sup>, RA = Reihenabstand in cm, n. e. = nicht erfasst)

Kultur/Gemenge	Variante	Wuchshöhe Erbsen in cm		Wuchshöhe Ölfrucht in cm	
		2024	2025	2024	2025
EF	Reinsaat	58	64		
LND	Reinsaat			65	71
SFL	Reinsaat			63	60
EF/LND	EF-Sorte Astronaut	62	71	72	76
EF/LND	EF-Sorte Orchestra	62	70	72	75
EF/LND	EF-Sorte Symbios	63	70	74	76
EF/LND	S = EF80/LND400	61	59	71	71
EF/LND	S = EF80/LND200	62	60	71	71
EF/LND	S = EF80/LND100	63	60	73	69
EF/LND	S = EF60/LND400	60	59	70	74
EF/LND	S = EF60/LND200	60	56	71	71
EF/LND	S = EF60/LND100	60	60	72	73
EF/LND	S = EF40/LND400	58	-	70	-
EF/LND	S = EF40/LND200	59	-	67	-
EF/LND	S = EF40/LND100	56	-	70	-
EF/SFL	RA = 16	64	n. e.	69	n. e.
EF/SFL	RA = 37,5	58	59	64	64
EF/LND	RA = 16	62	60	71	70
EF/LND	RA = 37,5	60	61	71	75

### 5.3.3 Pflanzengesundheit

Ab Mai wurde in allen Jahren der Befall mit der Schwarzen Bohnenlaus (*Aphis fabae*) an Einzelpflanzen der Erbsen festgestellt. Durch Niederschläge werden die Insekten von den Pflanzen gespült. Eine direkte Schädigung der Pflanze war nur für kurze Zeit gegeben. Eine Infizierung mit Viren ist allerdings nicht auszuschließen, wenngleich das Risiko durch den großflächigeren Befall bei der Ackerbohne stärker ausfiel (vgl. 5.4.3). Anfang Juli wurden in den Jahren 2023 und 2025 Larven des Erbsenwicklers (*Cydia nigricana*) in den Erbsenhülsen (Abbildung 24) sowie deren Fraßschäden dann an einem Großteil der geernteten Erbsen gefunden. 2023 waren sie besonders stark ausgeprägt. Im Jahr 2024 wurden erstmals Pheromonfallen zum Monitoring der Erbsenwickler-Falter aufgestellt. 2024 wurde nur ein Falter gefangen. Im Folgejahr waren es 71 (Abbildung 25). Der erhöhte Zuflug in diesem Jahr spiegelte sich durch die Einstichstellen an den Hülsen sowie die

Fraßschäden an den Körnern wider (Abbildung 26). Dies hatte Ertrags- und Qualitätsverluste der Erbsen zur Folge. 2024 kam es zwar nicht zu Schäden durch den Erbsenwickler, dafür allerdings durch Erbsenkäfer (*Bruchus pisorum*) (Abbildung 27). Eine Vermarktung im Lebensmittelbereich als Trockenware wäre so meist nicht mehr möglich gewesen. Zudem leidet die Keimfähigkeit, falls die Erbsen als Saatgut genutzt werden sollen [146]. Darüber hinaus hat sich der Befall auf die Trennung und Reinigung ausgewirkt (vgl. 5.3.4). Die Anzahl befallener Körner wurde durch eine einfache Stichprobe ermittelt. Dabei zeigte sich, dass in Reinsaat („Frei“) durchschnittlich 16, auf der „Frei“ im Gemenge 7 und auf dem „Brunnenfeld“ im Gemenge 12 von 100 Erbsenkörnern Fraßschäden aufwiesen. Im Jahr 2025 war erneut ein Befall mit den Erbsenkäfern zu beobachten. In Reinsaat wurden 15 von 100 und im Gemenge 10 von 100 Körnern mit Schäden durch Erbsenkäfer gezählt. Eine leichte Tendenz, die auf einen geringeren Befall im Gemenge hindeutet, war erkennbar. Für eine stichhaltige Aussage wären dazu genauere Untersuchungen notwendig, die im Zuge dieses Projekts nicht durchgeführt wurden.



Abbildung 24: Larve des Erbsenwicklers in Erbsenhülse Anfang Juli 2023 (links) und Mitte Juli 2025



Abbildung 25: Mittels Pheromonfalle während der Hauptflugphase gefangene Erbsenwickler 2025



Abbildung 26: Fraßschäden durch die Erbsenwicklerlarven





Abbildung 27: Befall mit Erbsenkäfern in den getrockneten und gereinigten Erbsen im Jahr 2024

An Leindotter zeigte sich ein Befall mit Falschem Mehltau (*Hyaloperonospora camelinae*), insbesondere nach der feucht-kühlen Witterung Anfang Juni 2023 und 2024. Je später gesät wurde, desto stärker war der Befall. Die Pflanzen des ersten Saattermins waren zwar ebenfalls befallen, zeigten aber kaum sichtbare Stressreaktionen und Auswirkungen auf das Wachstum (Abbildung 28). Anders verhielt es sich für Leindotter, der später gesät worden war. Seine Anfälligkeit für Erkrankungen war erhöht, er litt an Zwergwuchs sowie Chlorosen und einige Pflanzen starben ab (Abbildung 29). 2025 waren nur vereinzelt Pflanzen befallen.



Abbildung 28: Falscher Mehltau an Leindotter im Gemenge mit Erbse



Abbildung 29: Spät gesätes Gemenge Erbse/Leindotter im Saattermin-Versuch

### 5.3.4 Kornerträge

Die Gesamterträge im Gemenge Erbse/Leindotter stiegen im „Standard“ durchschnittlich von 19,2 dt/ha im Jahr 2024 auf 24,4 dt/ha in 2025 an (bei 40 °C getrocknete, gereinigte und getrennte Körner). Zurückzuführen ist dies auf den Anstieg im Erbsen- sowie Leindotterertrag. Allerdings war der prozentuale Anstieg des Leindotterertrags entscheidend. Er stieg um 76 % von 4,6 auf 8,0 dt/ha. Dies zeigte sich auch in den Anteilen der beiden Gemengepartner am Gesamtertrag. Während die Erbse 2024 76 % der Erntemenge entsprach, waren es 2025 67 %. Die Reinsaatserträge der Erbse lagen dagegen 2024 mit 24,4 dt/ha höher als im Jahr 2025, in dem 21,6 dt/ha geerntet wurden. 2024 wurden ungedüngt 3,6 dt/ha und gedüngt 8,0 dt/ha Leindotter in Reinsaat geerntet. Beim Saflor waren es 14,6 und 26,2 dt/ha in Reinsaat. Im Jahr 2025 waren es 13,8 und 15,6 dt/ha Leindotter. Saflor erreichte sowohl ungedüngt als auch gedüngt Erträge von 19,9 dt/ha. SAUCKE et al. (2006) stellten fest, dass der Erbsenertrag in Reinsaat und im Gemenge identisch war [135]. Das wurde in diesem Projekt nicht beobachtet. Die Erbsen-Reinsaat zeigte stets höhere Erbsenerträge, wenngleich die Gesamterträge im Gemenge überwiegend höher ausfielen.

### Drusch und Trennung der Gemengepartner

Bei der Ernte der Gemenge mit Saflor kam es vermehrt zu Bruchkorn bei den Erbsen (Abbildung 30, Abbildung 31), da der Abstand von Korb zu Dreschtrummel für Saflor eng gestellt werden muss, um die Körner ausreichend aus den Köpfen dreschen zu können. Der Befall durch Erbsenkäfer und die folgenden Fraßschäden verstärkten die Bruchgefahr. Die Ernte von Erbse mit Leindotter hingegen war problemlos möglich. Der Reinigungswind des Mähdreschers wurde niedrig gehalten, da es sonst zu Kornverlusten des Leindotters kommt. Der Reinigungsaufwand war stark abhängig von den Kulturen im Gemenge (Abbildung 30). Bei deutlichen Unterschieden in der Korngröße, z. B. bei Erbse/Leindotter, war eine Trennung trotz hohen Besatzes (Abbildung 32) schnell und gründlich durchzuführen. Die Separierung von Saflor und Erbse war aufgrund ähnlicher Korngrößen am anspruchsvollsten. Der hohe Anteil an Erbsen-Bruchkorn im Jahr 2024 erschwerte die Trennung zusätzlich und es waren mehrere Durchläufe in der Reinigungsmaschine notwendig.





Abbildung 30: Getrenntes Erntegut der Gemenge Erbse/Leindotter (links) und Erbse/Safflor (rechts)



Abbildung 31: Aus dem Gemenge Erbse/Safflor herausgereinigter Safflor enthielt nach dem ersten Reinigungsdurchlauf noch hohen Anteil an Erbsen-Bruchkorn





*Abbildung 32: Erntegut im Gemenge Erbse/Leindotter nach der Trocknung und vor der Reinigung und Trennung der Gemengepartner*

Im Jahr 2023 wurde lediglich eine Wiederholung im Versuch zu den unterschiedlichen Saatstärken von Futtererbsen und Leindotter im Gemenge beerntet. Dies diente dazu, ein generelles Ertragsniveau dieses Jahres festzuhalten. Allerdings waren Mindererträge zu erwarten, da zur Ernte bereits viele Erbsenhülsen geöffnet und die Bestände schlecht entwickelt waren. Zu beachten ist, dass die folgenden Einzelwerte nur grobe Tendenzen abbilden, keine Varianzen gebildet werden konnten und keine allgemeingültigen Schlussfolgerungen erlauben. In der Reinsaat von Leindotter wurden 6,8 dt/ha geerntet, in den Mischungen zwischen 1,3 und 4,5 dt/ha. Der Erbsenertrag schwankte zwischen 1,7 und 5,4 dt/ha. Der Gesamtertrag im Gemenge lag zwischen 4,5 und 8,3 dt/ha. Die Einzelerträge, wie auch der Gesamtertrag, waren auf den ersten Blick von der Saatstärke abhängig. Bei der Betrachtung der Beikrautverteilung auf der Fläche war jedoch ein Zusammenhang zwischen Ertrag und Beikrautvorkommen zu erkennen. Der Bezug der Erträge auf einzelne Saatstärken war somit nicht mehr möglich.

### **Sortenversuche**

Nach den Sorteneigenschaften des BSA sind alle drei Erbsensorten bezüglich des Korn-ertrags gleich einzuschätzen. Im Versuch zeigten sich dennoch tendenzielle Unterschiede (Abbildung 33). Im Gemenge mit der Sorte Symbios wurde 2024 sowohl der höchste Leguminosenertrag von 16,2 dt/ha als auch der höchste Gesamtertrag von 19,9 dt/ha erzielt. Gefolgt vom Gemenge mit der Sorte Orchestra mit 14,8 und 19,0 dt/ha und schließlich Astronaut mit 13,9 und 18,1 dt/ha. Der Leindotterertrag unterschied sich nur leicht zwischen den Varianten und lag zwischen 3,7 und 4,2 dt/ha. Der Gesamtertrag und der Erbsenertrag zeigten eine signifikante positive Korrelation ( $rr = 0,895$ ). In allen Varianten wurde 2024 ein höherer Leindotterertrag erreicht als in der ungedüngten Reinsaat. Die Erträge der Erbsen lagen dagegen deutlich unterhalb des Reinsaatertrags.



Im Jahr 2025 wurde ebenfalls bei der Sorte Symbios der höchste Erbsenertrag mit 17,8 dt/ha bestimmt, gefolgt von Astronauta mit 16,9 dt/ha und Orchestra mit 15,4 dt/ha. Signifikante Unterschiede ließen sich allerdings nicht nachweisen. Der Leindotterertrag lag in Kombination mit der Erbsen-Sorte Symbios mit 7,0 dt/ha signifikant niedriger als mit Astronauta (7,8 dt/ha) und Orchestra (8,1 dt/ha). Damit wurden die Unterschiede durch die Erbsensorte etwas ausgeglichen und der Gesamtertrag im Gemenge unterschied sich geringfügig zwischen den Varianten. Mit Symbios lag er bei 24,8, mit Astronauta bei 24,7 und mit Orchestra bei 23,6 dt/ha. Der Leindotter war, anders als 2024, in der Lage, Erbsenerträge auszugleichen. Die Reinsaaterträge waren sowohl für Erbsen als auch für Leindotter höher als die Gemengeerträge. Der Erbsenertrag lag bei 21,6 dt/ha, der von Leindotter bei 15,6 dt/ha gedüngt und 13,8 dt/ha ungedüngt.

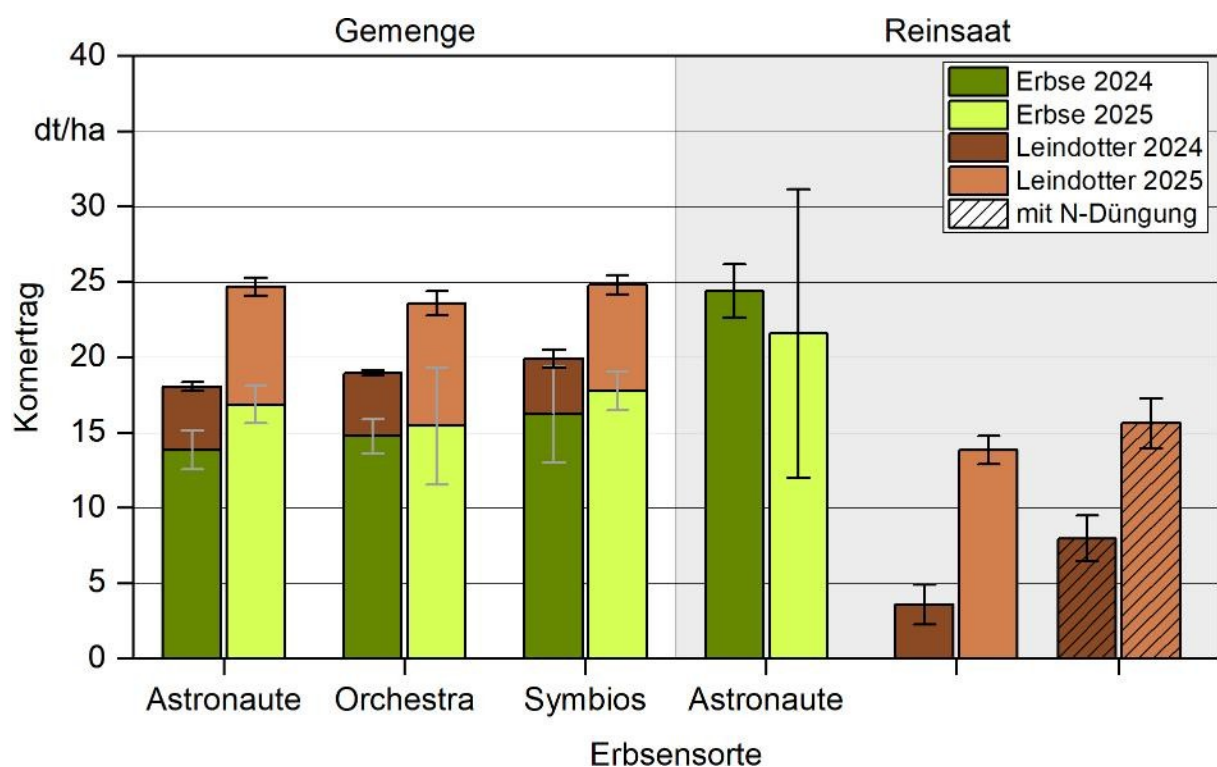


Abbildung 33: Korntrag der Reinsaaten sowie des gesamten Gemenges und Ertragsanteile von Erbse und Leindotter im Sortenversuch in den Jahren 2024 und 2025,  $n = 4$

### Saatstärkenversuche

Im Saatstärkenversuch waren 2024 zwischen den Varianten Unterschiede im Gesamtertrag und in den Einzelerträgen von Erbse und Leindotter erkennbar (Abbildung 34). Der Erbsenertrag zeigte eine signifikante Korrelation mit dem Gesamtertrag des Gemenges ( $r = 0,959$ ). Wie zu erwarten gab es jeweils negative Korrelationen bei der Erhöhung der Saatstärke einer Kultur auf den Anteil der anderen Kultur im Gemenge. Mit steigender Erbsen-Saatstärke (40, 60, 80 Kö/m<sup>2</sup>) nahm der Erbsenertrag von 10,7 auf 12,8 und weiter auf 13,5 dt/ha zu. Dies bestätigte sich auch durch eine signifikante Korrelation ( $r = 0,375$ ). Gleiches war für den Leindotterertrag, der bei der Zunahme seiner Saatstärke von 3,3 auf

3,7 und 4,1 dt/ha anstieg ( $r = 0,370$ ) zu beobachten. Mit der Erbsen-Saatstärke von 40 Kö/m<sup>2</sup> wurden ein durchschnittlicher Gesamtertrag von 14,4 dt/ha geerntet. In der Variante mit 100 Kö/m<sup>2</sup> Leindotter waren Erbsenerträge zu beobachten, die sich nicht stark von den höheren Erbsen-Saatstärken unterschieden. Mit 200 und 400 Kö/m<sup>2</sup> Leindotter dagegen wurden nur 8,2 und 9,1 dt/ha Erbsen geerntet. Dabei war der Leindotter, selbst in hoher Saatstärke, nicht in der Lage, die Mindererträge der Erbse zu kompensieren. Sein durchschnittlicher Ertrag war in den Varianten mit geringer (40 Kö/m<sup>2</sup>) und hoher (80 Kö/m<sup>2</sup>) Erbsen-Saatstärke annähernd gleich. Bei 60 Kö/m<sup>2</sup> Erbsen war der Leindotterertrag mit durchschnittlich 4,1 dt/ha am höchsten. Dabei war er bei einer Saatstärke von 400 Kö/m<sup>2</sup> signifikant höher als mit 100 und 200 Kö/m<sup>2</sup>. Wie erwartet gab es einen tendenziellen Rückgang der Erbsenerträge bei der Erhöhung der Leindotter-Saatstärke von 100 auf 200 Kö/m<sup>2</sup>. Überraschend war der minimale Anstieg der Erbsenerträge bei einer weiteren Erhöhung auf 400 Kö/m<sup>2</sup> Leindotter. Es handelte sich dabei nur um sehr geringe Veränderungen, allerdings wurden sie bei allen Erbsen-Saatstärken beobachtet. Als Anbaustandard wurde in diesem Jahr die Variante mit 60 Kö/m<sup>2</sup> Erbsen und 200 Kö/m<sup>2</sup> Leindotter festgelegt. In dieser Variante wurden 12,0 dt/ha Erbsen und 4,2 dt/ha Leindotter geerntet. Bei der Variante 60/100 war der Erbsenertrag mit 13,7 dt/ha höher und der Leindotterertrag niedriger (3,7 dt/ha) als in der Mischung 60/400 mit 12,5 und 4,6 dt/ha.

Im Jahr 2025 entfielen die Varianten mit der Erbsensaaststärke von 40 Kö/m<sup>2</sup>. Bei einer Erbsen-Saatstärke von 60 Kö/m<sup>2</sup> zeigte sich ein abnehmender Erbsen- und auch Gemeengeertrag mit zunehmender Leindotter-Saatstärke (Abbildung 35). Der Ertrag von Leindotter stieg dabei von 6,7 über 8,0 auf 8,4 dt/ha an. Der Erbsenertrag sank von 18,3 über 15,9 auf 13,8 dt/ha ab. Der Gesamtertrag sank weniger stark ab. Dennoch konnte der Anstieg des Leindotterertrags die Abnahme des Erbsenertrags durch höhere Konkurrenz bei höherer Leindotter-Saatstärke nicht vollständig ausgleichen. Der Leindotter war, anders als 2024, besser in der Lage, geringere Erbsenerträge auszugleichen. Bei den Varianten mit Erbsen-Reinsaatstärke wurden minimal höhere Erträge erreicht. Es zeigte sich ebenfalls eine Abnahme des Erbsenertrags bei zunehmender Leindotter-Saatstärke, insbesondere bei der Erhöhung von 100 auf 200 Kö/m<sup>2</sup>. Die Leindottererträge waren etwas niedriger als bei den Varianten mit geringerer Erbsen-Saatstärke und stiegen mit zunehmender Leindotter-Saatstärke von 5,7 über 7,2 auf 8,0 dt/ha an. Die Erbsenerträge lagen entsprechend bei 18,7, 15,9 und 16,3 dt/ha. Dies widerspricht Untersuchungen, in denen weder Erbse als zusätzliche Kultur noch die Verdoppelung der Leindotter-Saatstärke einen Einfluss auf den Leindotterertrag hatte [135]. Wie auch im Sortenversuch waren die Reinsaterträge 2025 sowohl bei den Erbsen als auch beim Leindotter höher als die Gemeengeerträge, selbst bei übereinstimmender Saatstärke und ausbleibender Düngung der Reinsaat. Dies verdeutlicht die gegenseitige Unterdrückung der Kulturen im Mischanbau durch den Gemeengepartner.

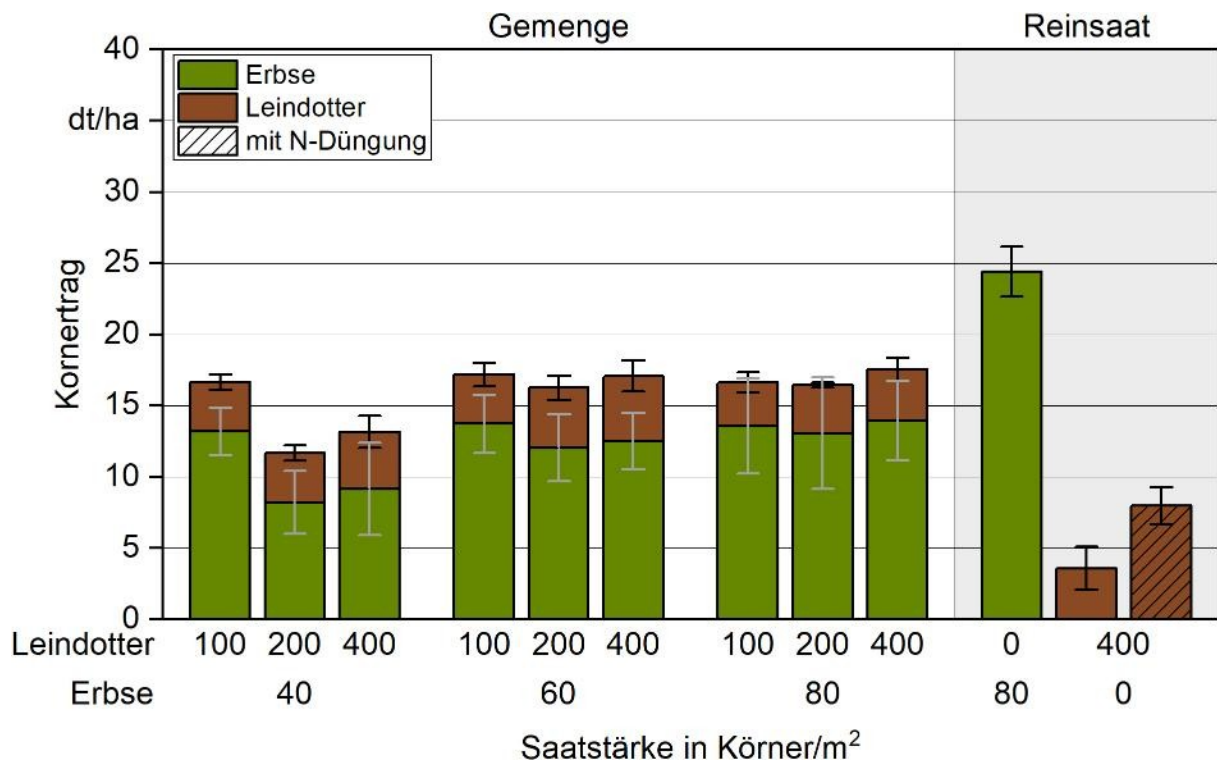


Abbildung 34: Kornertrag der Reinsaaten des gesamten Gemenges und Ertragsanteile von Erbse und Leindotter im Saatstärkenversuch im Jahr 2024,  $n = 4$

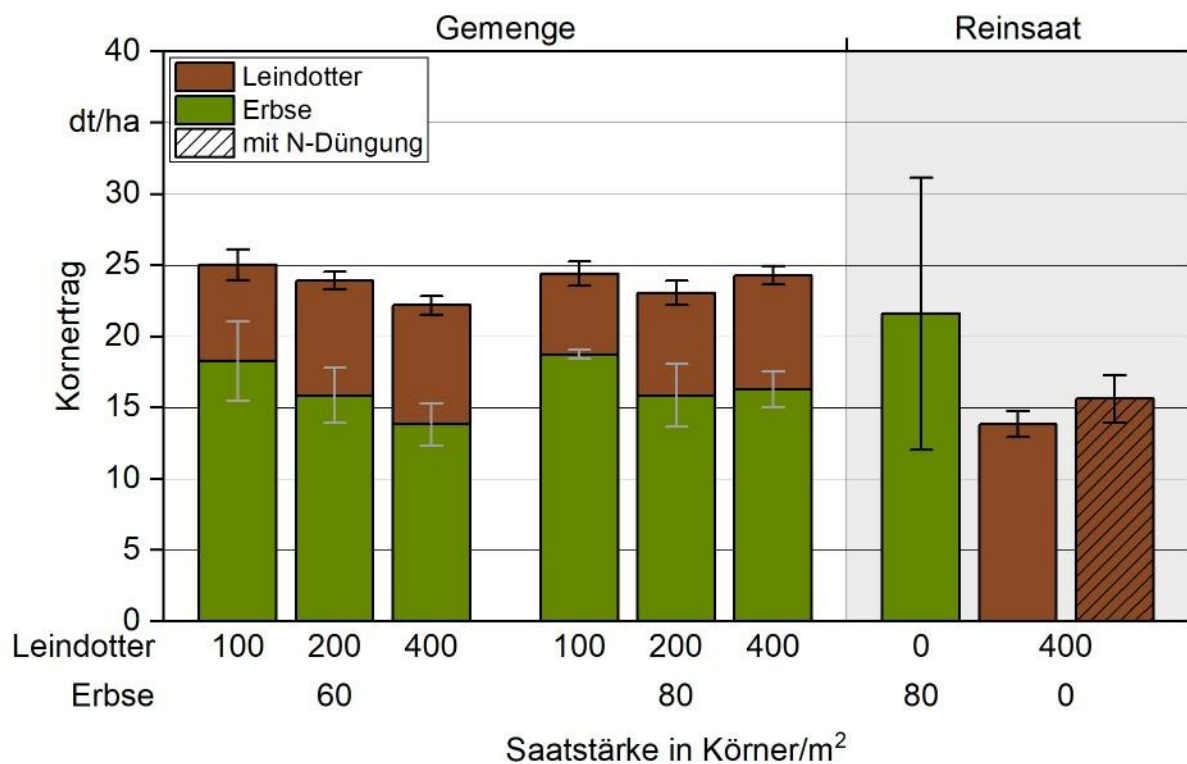


Abbildung 35: Kornertrag der Reinsaaten sowie des gesamten Gemenges und Ertragsanteile von Erbse und Leindotter im Saatstärkenversuch im Jahr 2025,  $n = 4$

### Reihenversuche

Die Ergebnisse des Reihenversuchs zeigen, wie sich die Wahl des Gemengepartners und der Reihenabstand auf den Erbsen- und Gesamtertrag sowie die Zusammensetzung des Gemenges auswirken (Abbildung 36). Das Verhältnis von Leguminose und Ölfrucht in den verschiedenen Gemengen war sehr unterschiedlich. Während der Gesamtertrag bei Kombination mit Körnerhanf fast ausschließlich auf die Erbsen zurückzuführen war, machte Saflor einen deutlich höheren Anteil am Gesamtertrag aus. Zudem wurde er 2024 durch den Reihenabstand beeinflusst. Die Varianten mit Leindotter zeigten ähnliche Verhältnisse der Gemengepartner wie im Sorten- und Saatstärkenversuch. Der Reihenabstand hatte dabei keine Auswirkungen. Der Gesamtertrag wurde maßgeblich vom Erbsenertrag bestimmt. Es zeigten sich 2024 positive Korrelationen zwischen dem Gesamt- und Erbsenertrag im Versuch sowohl mit Leindotter ( $r = 0,857$ ) als auch mit Saflor ( $r = 0,762$ ).

Bei engem Reihenabstand ließen sich 2024 höhere Gesamterträge feststellen. Am höchsten war er mit Körnerhanf (30,4 dt/ha) und Saflor (28,9 dt/ha). Der Gesamtertrag mit Leindotter (23,7 dt/ha) war signifikant niedriger. Im Gemenge Erbse/Körnerhanf wurden bei 16 cm Reihenabstand 29,5 dt/ha Erbsen und 0,9 dt/ha Hanf geerntet. Da Hanf stark an N-Mangel litt und sich nicht ausreichend etablieren konnte, standen den Erbsen mehr Ressourcen zur Verfügung. Interessant ist, dass der Erbsenertrag in dieser Variante höher ausfiel als der Erbsenreinsaatertrag. Möglicherweise haben die Hanfpflanzen in dieser Variante als ertragsförderliche Stütze gewirkt. Mit der Erhöhung des Reihenabstands wurde ein Ertragsseinbruch beobachtet und nur noch 16,5 dt/ha Erbsen und 1,6 dt/ha Hanf geerntet. Zurückführen ließ sich das auf die geringere Stützfunktion für die Erbsen in weiten Reihen. Der Gesamtertrag im Gemenge Erbse/Saflor hatte sich dagegen bei der Erhöhung des Reihenabstands weniger stark reduziert, wenngleich die Abnahme signifikant war. Es wurden insgesamt noch 25,5 dt/ha geerntet, wobei sich der Gesamtertrag aus 8,7 dt/ha Erbsen und 16,8 dt/ha Saflor zusammensetzte. Bei einem Reihenabstand von 16 cm waren dagegen 16,4 dt/ha Erbsen und 12,5 dt/ha Saflor möglich. Hackschäden könnten grundsätzlich als Erklärung für den Ertragsverlust der Erbsen in weiten Reihen in Betracht kommen. Allerdings müsste sich der Ertragsrückgang dann ebenfalls in der Kombination Erbse/Leindotter zeigen. Zudem wurden ähnliche Reaktionen auf die Veränderungen des Reihenabstands im Reihenversuch mit Ackerbohnen (vgl. 5.4.4) beobachtet, welche aufgrund ihrer Wuchsform wenig anfällig für Hackschäden sind. Saflor hat einen höheren Standraumbedarf als Leindotter und Körnerhanf, sodass er von weiteren Reihen profitierte.

2025 mussten die Varianten mit engen Reihen aufgrund des hohen Beikrautdrucks umgebrochen werden. Es werden daher nur Unterschiede bezüglich des Gemengepartners dargestellt. Im Gemenge Erbse/Leindotter wurde im Vergleich zu 2024 ein höherer Gemengeertrag von 24,6 dt/ha festgestellt, der auf einen höheren Leindotterertrag von 8,3 dt/ha zurückzuführen ist. Dies ist auf erhöhte Trockenheitstoleranz von Leindotter zurückzuführen. Auch im Gemenge mit Saflor war der Erbsenertrag im Vergleich zum Vorjahr geringer (7,1 dt/ha). Allerdings war der Saflorertrag mit 15,3 dt/ha nicht höher als im Vorjahr. Der niedrigere Erbsenertrag resultierte aus den hohen Ausfallverlusten zum Erntezeitpunkt. Saflor etablierte sich zwar zunächst gut und profitierte von den Trockenperioden,

allerdings litt die Kornausbildung durch anhaltende Niederschläge während und kurz nach der Blüte. Die Körbchen wurden durch Insektenlarven befallen und zeigten Fäulnis, die Kornfüllungsphase wurde gestört. Einige Körbchen blieben leer oder enthielten leere Körner. Leindotter hatte zu diesem Zeitpunkt die Blüte bereits abgeschlossen.

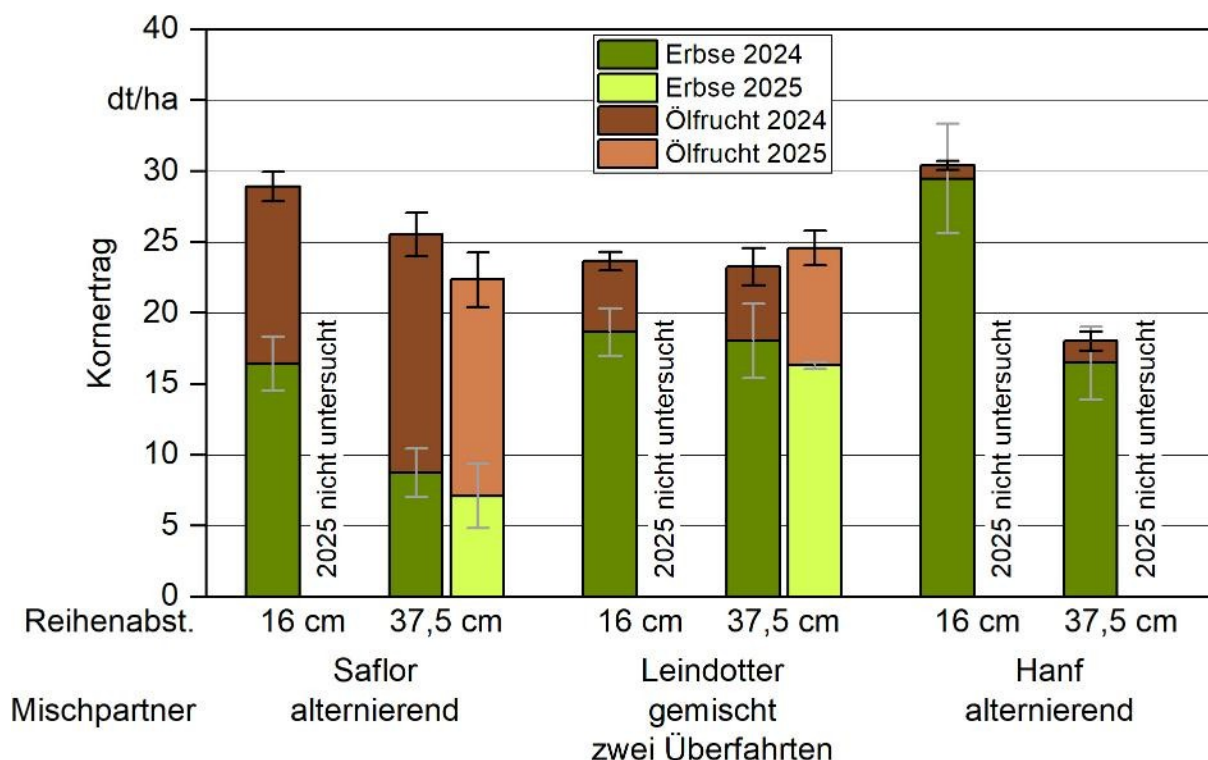


Abbildung 36: Kornertrag der Reinsaat sowie des gesamten Gemenges und Ertragsanteile von Erbse und der jeweiligen Ölfrucht für zwei Reihenabstände im Reihenversuch,  $n = 4$

### Zusätzliche Versuche

Im Versuch mit gleicher Ablagetiefe bei der Saat beider Partner, verschiedenen Reihenabständen und sowohl gemischten als auch alternierenden Reihen wurden generell deutlich höhere Erbsen- und Gesamterträge erreicht. Grund dafür war eine andere Fläche, die sich bezüglich des  $N_{\min}$ -Gehalts, der Vorfrucht und der Saatbettbereitung unterschied (vgl. 4.1 und 4.3). Die Erbsenerträge lagen im Gemenge mit Leindotter zwischen 22,6 und 27,8 dt/ha. Mit Saflor waren sie deutlich geringer und bewegten sich in einem Bereich zwischen 11,8 und 17,9 dt/ha. Der höchste Gesamtertrag (34,0 dt/ha) wurde dennoch in der Variante Erbse/Saflor, gemischt in gleicher Tiefe gesät mit einem RA von 16 cm, erreicht. Der höchste Erbsenertrag von 28,1 dt/ha wurde in der Variante Erbse/Leindotter, gemischt gesät mit einem RA von 37,5 cm und gleicher Ablagetiefe, geerntet. Mit 32,1 dt/ha Gesamtertrag war das die erfolgreichste Variante im Gemenge Erbse/Leindotter. Sie hatte den Vorteil, dass der Erbse durch den Leindotter eine Stütze geboten wurde, Licht in den Bestand kam und ein Hacken möglich war. Interessanterweise war der Ertrag deutlich höher als in der Variante, in der Leindotter in sehr flacher Saat in einer zweiten Überfahrt, wie in allen anderen gemischten Erbsen/Leindotter-Varianten, gesät wurde. Eine gemeinsame

Ablage auf derselben Tiefe kann also erfolgreich sein. Die Ergänzung von Phacelia als Blühpflanze oder Weißklee als zusätzliche Leguminose zeigte leichte Tendenzen zu niedrigeren Erträgen. Allgemeingültige Aussagen zum Einfluss des Reihenabstands ließen sich nicht ableiten. Es waren deutliche Jahresunterschiede bezüglich des absoluten Ertrags erkennbar (Abbildung 37), was vorrangig auf verschiedene Ausgangsbedingungen der Flächen zurückzuführen ist. Ein Vergleich ist daher nur zwischen den Varianten innerhalb eines Jahres sinnvoll.

Die Variante „gemischt zwei Überfahrten“ entspricht dem Standard und damit der üblichen Saattechnik in allen anderen Versuchen. Im Jahr 2024 war in dieser Variante der geringste Erbsen- wie auch Gemengeertrag zu beobachten. Im Jahr 2025 waren die Erträge mit denen der Variante „gemischt inkl. Weißklee“ gleich. In beiden Versuchsjahren wurden etwas höhere Erträge in der Variante „gemischt eine Überfahrt“ erreicht. Dies überrascht, denn es wurde davon ausgegangen, dass eine ideale Ablagetiefe, für den Leindotter flacher als für die Erbse, von Vorteil sein würde. Dies hat sich nicht bestätigt und es kann davon ausgegangen werden, dass – bei guten Aussaatbedingungen – eine gemeinsame Ablage in einer Überfahrt zu bevorzugen ist, insbesondere mit Blick auf die Kosten und den Arbeitszeitbedarf. Im Versuch zur Ablagetiefe waren Varianten mit Weißklee als Beisat enthalten. Zur Ernte von Erbse/Leindotter war bereits Weißklee zu sehen, allerdings war er noch nicht sehr wüchsig. Kurz nach der Ernte entwickelte er sich zu einem gleichmäßigen und dichten Bestand, insbesondere in den Varianten mit einem RA von 16 cm.

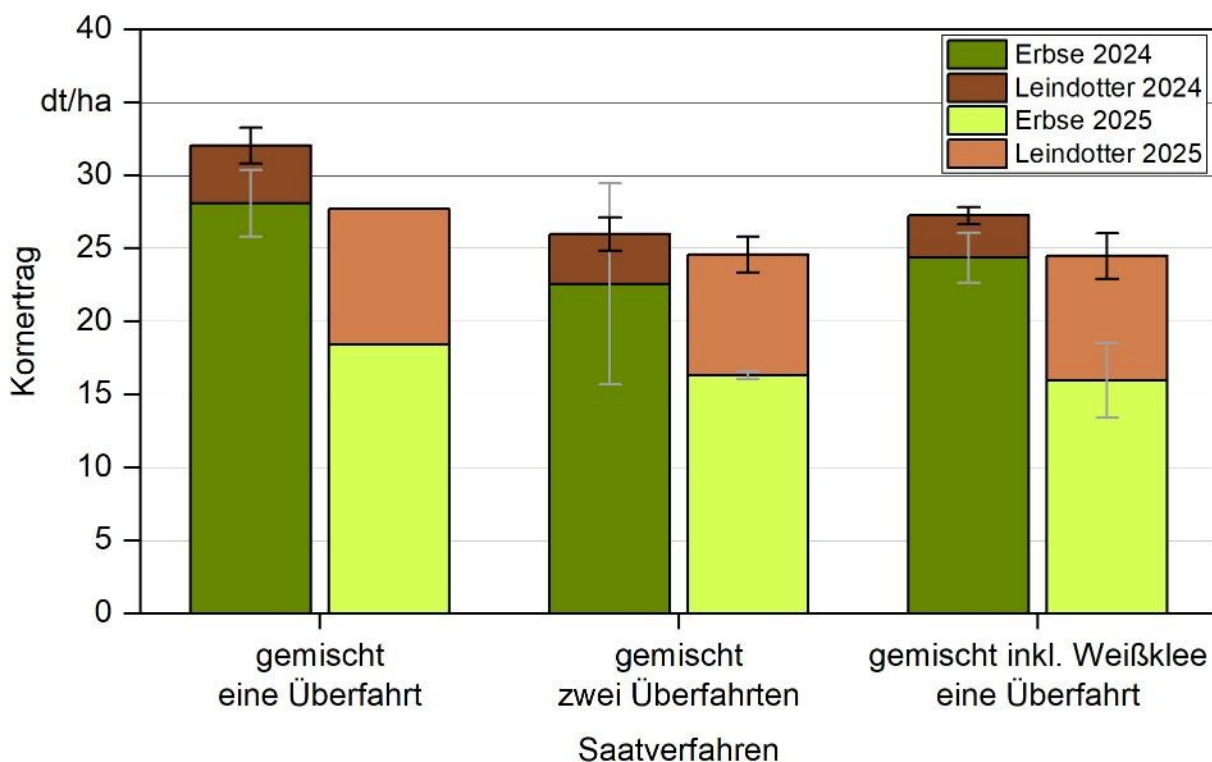


Abbildung 37: Kornertrag des gesamten Gemenges und Ertragsanteile von Erbse und Leindotter bei Aussaat in ein oder zwei Überfahrten,  $n = 4$

### 5.3.5 Relativer Flächenertrag

Die Gemengeerträge, Reinsaaterträge und Unterschiede zwischen den Varianten wirken sich auf die Höhe der RYT-Werte aus. Der RYT+N wurde mit Erträgen gedüngter Reinsaaten und der RYT–N mit denen ungedüngter Reinsaaten berechnet (vgl. 4.4.7). Beide Werte sind für die Einschätzung und Bewertung wertvoll. In den Versuchen mit Erbse waren alle RYT–N in beiden Versuchsjahren größer als eins und damit flächenproduktiver als eine Reinsaat (Tabelle 31). Die Werte bewegten sich 2024 zwischen 1,30 und 2,25 und 2025 zwischen 1,09 und 1,52. Bei den RYT+N-Werten liegen dagegen mehrere Gemenge unter eins. Dies gilt für alle Gemenge mit der niedrigsten Erbsen-Saatstärke (40 Kö/m<sup>2</sup>), die Varianten mit hoher Erbsen-Saatstärke (80 Kö/m<sup>2</sup>) und 100 bzw. 200 Kö/m<sup>2</sup> Leindotter und die Kombination Erbse/Saflor in weiten Reihen. Bei der Beurteilung des RYT verschiedener Erbsensorten muss berücksichtigt werden, dass als Reinsaat lediglich die Sorte Astronauta zur Verfügung stand und für die Berechnung genutzt wurde. Der RYT des Anbaustandards als Mittelwert über alle Einzelversuche im jeweiligen Versuchsjahr lag im Jahr 2024 bei 1,2 (RYT+N) und 1,9 (RYT–N) und im Jahr 2025 bei 1,3 (RYT+N) und 1,3 (RYT–N). Um den gleichen Ertrag zu erreichen, wäre stets eine größere Fläche an Reinsaaten nötig als an Gemenge.

*Tabelle 31: Rechnerischer relativer Flächenertrag (RYT) der Erbsen-Gemenge in den Jahren 2024 und 2025, berechnet mit gedüngter (RYT+N) und ungedüngter Ölfrucht (RYT–N)*

Gemenge	Versuch	Variante	RYT+N 2024	RYT–N 2024	RYT+N 2025	RYT–N 2025
EF/LND	EF-Sorte	Astronauta	1,09	1,74	1,28	1,35
EF/LND	EF-Sorte	Orchestra	1,13	1,77	1,24	1,30
EF/LND	EF-Sorte	Symbios	1,13	1,71	1,27	1,33
EF/LND	Reihen	16 cm	1,39	2,16	n. e.	n. e.
EF/LND	Reihen	37,5 cm	1,39	2,20	1,09	1,09
EF/SFL	Reihen	16 cm	1,20	1,53	n. e.	n. e.
EF/SFL	Reihen	37,5 cm	1,06	1,51	1,29	1,35
EF/LND	Saatstärken	EF40/LND400	0,88	1,49	n. e.	n. e.
EF/LND	Saatstärken	EF40/LND200	0,77	1,30	n. e.	n. e.
EF/LND	Saatstärken	EF40/LND100	0,98	1,51	n. e.	n. e.
EF/LND	Saatstärken	EF60/LND400	1,08	1,79	1,17	1,24
EF/LND	Saatstärken	EF60/LND200	1,02	1,67	1,25	1,32
EF/LND	Saatstärken	EF60/LND100	1,00	1,53	1,28	1,33
EF/LND	Saatstärken	EF80/LND400	1,02	1,57	1,27	1,33
EF/LND	Saatstärken	EF80/LND200	0,96	1,48	1,20	1,25
EF/LND	Saatstärken	EF80/LND100	0,94	1,41	1,23	1,28



Die Ergebnisse bestätigen die Flächeneffizienz des Gemenges Erbse/Leindotter. Wie in anderen Studien bereits festgestellt [135] [125] war das Gemenge flächeneffizienter als die Reinsaat und erreichte meist einen höheren Gesamtertrag.

### 5.3.6 Kornqualität

Um die Auswirkungen des Gemengeanbaus auf die Qualitätsparameter der Körner abschätzen zu können, wurden ausgewählte Varianten auf unterschiedliche Merkmale hin analysiert. Als Vergleich wurde stets die Kultur in Reinsaat mituntersucht.

Aufgrund ausbleibender Ernte 2023 und fehlender Ernteprodukte war es nicht möglich oder sinnvoll, in diesem Jahr die Qualitäten zu bestimmen. Eine Wiederholung im Saatstärken-Versuch mit Erbse und Leindotter wurde zwar geerntet, allerdings waren die Körner teilweise eingetrocknet, andere wiesen Fraßschäden durch den Erbsenwickler auf. Anhand lediglich einer Wiederholung ist keine aussagekräftige Bewertung möglich. Daher wurden der Stickstoffgehalt und der Ölgehalt in 2023 nicht analysiert.

Der Rohprotein-Gehalt (RP-Gehalt) von Erbsen in Reinsaat lag bei 19,0 % im Jahr 2024 und bei 19,5 % im Jahr 2025 (Tabelle 32). Im Gemenge wurden 2024 Werte zwischen 17,6 und 19,4 % bestimmt, wobei der Durchschnittsgehalt aller Versuche mit Leindotter und Sorte Astronaut bei 17,9 % lag. 2025 schwankten die RP-Gehalte im Bereich von 16,6 % bis 21,5 %. Dabei ist der niedrigste Werte dem Gemenge mit Saflor zuzuordnen. Im Gemenge Erbse/Leindotter mit Sorte Astronaut lagen der RP-Gehalt bei durchschnittlich 19,8 %. Zwischen den Sorten gab es Unterschiede, obwohl nach Angaben des BSA alle Sorten bezüglich des RP-Gehalts gleich einzustufen sind. Die Körner der Sorte Orchestra hatten den höchsten RP-Gehalt und erreichten 19,4 % (2024) bzw. 21,5 % (2025). Die Sorte Symbios erzielte 2024 mit 17,3 % den niedrigsten RP-Gehalt. Im Jahr 2025 wurde für die Sorte Astronaut mit 19,3 % der geringste RP-Gehalt gemessen. In Kombination mit Saflor waren 2024 etwas höhere RP-Gehalte festzustellen als mit Leindotter, 2025 war es umgekehrt. Im Gemenge mit Saflor hatten die Erbsen mit Abstand den niedrigsten RP-Gehalt. Bei einer Erhöhung des Reihenabstands nahm der RP-Gehalt 2024 ebenfalls etwas zu. Die Saatstärken von Erbse und Leindotter hatten keine eindeutigen Auswirkungen auf den RP-Gehalt der Erbsen.

Der Ölgehalt war in den gedüngten Reinsaat niedriger als in den ungedüngten. Die Ölgehalte von Leindotter waren im Gemenge 2024 mit durchschnittlich 36,6 % in etwa so hoch wie in der Reinsaat mit 36,4 %. 2025 war der Ölgehalt mit durchschnittlich 35,9 % etwas niedriger als in Reinsaat mit 37,0 %. Die Schwankungen zwischen den Varianten waren allerdings gering. 2024 ließen sich keine eindeutigen Einflussfaktoren benennen. Insgesamt schien die Erbse als Gemengepartner keinen Einfluss auf den Ölgehalt von Leindotter zu haben. Dies wurde bereits in einer anderen Untersuchung beobachtet [108]. Mit zunehmender Leindotter-Saatstärke waren 2025 dagegen steigende Ölgehalte festzustellen.



**Tabelle 32:** Rohprotein- und Ölgehalt verschiedener Kulturen im Erbsen-Gemenge im Vergleich zur Reinsaat

Versuch	Variante	Rohproteingehalt der Erbse % in TM		Ölgehalt der Ölfrucht % in TM	
		2024	2025	2024	2025
Reinsaat	Erbse	19,0	19,5	-	-
	Leindotter -N			36,4	37,0
	Leindotter +N			34,9	36,0
	Saflor -N			22,4	19,2
	Saflor +N			21,6	18,3
Reihenversuch	EF/LND 16 cm	17,9	20,6	39,9	37,6
	EF/LND 37,5 cm	18,4	18,8	38,7	36,4
	EF/SFL 16 cm	18,8	n. e.	19,6	n. e.
	EF/SFL 37,5 cm	19,3	16,6	21,5	18,7
Sortenversuch	Astronaut	17,9	19,3	37,4	n. e.
	Orchestra	19,4	21,5	36,8	n. e.
	Symbios	17,3	20,0	36,7	n. e.
Saatstärkenversuch	EF40/LND100	18,0	-	35,4	-
	EF40/LND200	17,8	-	36,4	-
	EF40/LND400	18,3	-	36,1	-
	EF60/LND100	18,0	19,9	36,7	34,9
	EF60/LND200	17,6	20,4	36,3	35,3
	EF60/LND400	17,9	20,5	34,8	36,4
	EF80/LND100	17,7	19,0	36,4	34,9
	EF80/LND200	17,8	20,0	35,6	35,8
	EF80/LND400	18,0	19,5	35,8	35,8

## 5.4 Versuche mit Ackerbohne

### 5.4.1 Entwicklung

Die früher gesäten Ackerbohnen (Saatstärken- und Sortenversuch) hatten 2023 einen Feldaufgang von 78 % (Julia), 81 % (Bioro) und 90 % (Tiffany). Dagegen liefen die später gesäten Ackerbohnen (Reihenversuch, Reinsaat), wie auch die Erbsen, nur vereinzelt auf (Abbildung 38). Sie hatten ebenfalls mit den Witterungsbedingungen zu kämpfen (vgl. 5.1). Der Feldaufgang von Saflor lag bei 86 %, der von Körnerhanf lag bei 71 %. Bereits im BBCH-Stadium 12 bis 16 wurden viele Bienen in den Beständen beobachtet, denen die Nektarien an den Ackerbohnenpflanzen als Nahrungsquelle dienten (Abbildung 39). Die

Ackerbohnen blühten etwas später und entsprechend länger als die Erbsen. Zu diesem Zeitpunkt waren sie teilweise abgestorben, verwelkt oder sehr klein (vgl. 5.4.3). Anfang August waren ca. 50 % der Hülsen schwarz gefärbt. Der Hülsenansatz war häufig gering und lag unter fünf Hülsen pro Pflanze. Die Bohnen in den Hülsen wiesen schwarze Flecken auf (vgl. 5.4.3, Abbildung 46) und waren überwiegend eingetrocknet. Am 11.08. blühten einige Pflanzen erneut. Es ist bekannt, dass eine fortgesetzte Blütenbildung stattfindet, wenn Ackerbohnen aufgrund kleiner Hülsen oder ungünstiger Bedingungen vermehrt Blüten oder Hülsen abwerfen [10]. So waren die Pflanzen Mitte August unterschiedlich entwickelt. Anfang August standen nur noch die Kombinationen mit Saflor auf dem Feld, wobei dieser erst Anfang September erntereif war und die Gemenge aufgrund starker Verunkrautung und Auswuchs von Saflor nicht beerntet wurden.

2024 hatten die Ackerbohnsorten einen Feldaufgang von 66 % (Jasmin), 70 % (Birgit) und 71 % (Stella). Körnerhanf hatte einen Feldaufgang von 59 %. Von den ausgesäten Saflorkörnern liefen 80 % auf. Anfang Mai wechselten die Ackerbohnen ins Längenwachstum und Ende Mai schließlich in die Blütenanlage (Tabelle 33). Die Staunässe in Teilen des Versuchs (vgl. 5.1) überstanden sie gut. Die Vollblüte (BBCH = 65) wurde um den 11.06. erreicht und ging bis zum 25.06. Am 28.06. zeigten sich erste in die Fruchtentwicklung übergehende Pflanzen. Mitte Juli war der gesamte Bestand kurz vor Beginn der Frucht- und Samenreife. Am 12.08. wurde die Vollreife festgestellt. In diesem Jahr waren die Ackerbohnen im Gemenge aufgrund ausreichender Niederschläge konkurrenzstärker.

Der Feldaufgang der Ackerbohnen war im Jahr 2025 höher als 2024. Von den Sorten Birgit und Ketu liefen 90 % der gesäten Körner auf. Bei Jasmin waren es 77 %. Im Gemenge war der Feldaufgang von Saflor gering. Er lag bei nur 54 bis 59 %. Die Ackerbohnen litten unter der Frühsommertrockenheit und blieben in ihrem Wachstum etwas zurück. Nach der Blüte überwuchs sie der Saflor aufgrund seiner ausladenden Wuchsform und seiner Trockenheitstoleranz zügig (Abbildung 40). Die Blüte der Ackerbohnen verlief vom 01.06. bis zum 15.06. und war deutlich kürzer als im Jahr 2024 (Tabelle 33). Anschließend gingen sie in die Kornfüllungsphase über, die bis 07.08. andauerte. Die Reife war somit zum selben Zeitpunkt wie im Jahr 2024 erreicht.

Die Entwicklung von Leindotter, Saflor und Körnerhanf verlief wie unter 5.3.1 beschrieben. Körnerhanf erreichte 2024 sowohl die männliche als auch weibliche Blüte in den Versuchen mit Ackerbohne stets einige Tage früher als in den Versuchen mit Erbse. Am 13.08. ließ sich die Vollreife feststellen. Darüber hinaus hatte die Wahl der Leguminose im Gemenge keinen Einfluss auf die Entwicklung. Durch die spätere Ernte von Ackerbohne im Vergleich zur Erbse, müssen die Ölfrüchte allerdings etwas länger auf den Feldern stehen. Das Gemenge Ackerbohne/Leindotter ließ sich stets gut ernten, allerdings kam es 2025 zu höheren Ausfallverlusten des Leindotters im Vergleich zum Gemenge mit Erbse, da die Ernte aufgrund der Witterung verzögert stattfand. Je später geerntet werden muss, desto höher wird das Risiko, von Saflor noch auf der Pflanze auszuwachsen. Dies war in Gemengen mit Ackerbohne nur im Jahr 2023 zu beobachten. Die Kombination Ackerbohne/Saflor passte 2025 bezüglich einer gemeinsamen Ernte gut zusammen und konnte ohne Verluste gedroschen werden.



*Abbildung 38: Verminderter Feldaufgang der Ackerbohnen-Reinsaat, Aufnahme Ende Juli 2024*



*Abbildung 39: Nektarien an Ackerbohnenpflanzen bieten bereits ab Mai Nahrung für Nützlinge*





Abbildung 40: Ausladende Wuchsform von Saflor führt zu Beschattung der Ackerbohnen

Tabelle 33: Entwicklung der Ackerbohnen, Blüte entspricht BBCH von 60 bis 69, Kornfüllung entspricht BBCH von 70 bis 89

	2023	2024	2025
Aussaat	09.05. (bzw. 20./21.05.*)	08./09.04.	20/21.03.
Blüte	19.06.–03.07.	01.06.–28.06.	01.06.–15.06.
Kornfüllung	04.07.–04.09.	29.06.–13.08.	16.06.–07.08.

\* Witterungsbedingter, verspäteter Saattermin des Reihen- und Reinsaatversuchs; Blüte und Kornfüllung beziehen sich auf ersten Termin

#### 5.4.2 Wuchshöhe

Im Jahr 2023 waren die Ackerbohnen zu Beginn der Vegetation höher als die jeweiligen Gemeengepartner. Ab dem Vegetationstag 32 änderte sich das und sowohl Leindotter, Körnerhanf als auch Saflor überwuchsen die Ackerbohnen. Leindotter, Körnerhanf und Ackerbohne erreichten eine ähnliche Endhöhe, wohingegen Saflor eine höhere Pflanzenlänge aufwies. Die Ackerbohnen sorte Bioro erreichte in allen Mischungen die größte Wuchshöhe, gefolgt von Julia und schließlich Tiffany als niedrigste Sorte. In der Kombination mit Leindotter wichen die Pflanzhöhen von Bioro und Julia kaum voneinander ab. In den Mischungen mit Saflor und Körnerhanf waren die Pflanzen der Sorte Bioro deutlich höher als die der Sorten Julia und Tiffany. Im Gemenge von Ackerbohne und Körnerhanf waren alle Sorten etwas höher als mit Saflor oder Leindotter. Zwischen den Wuchshöhen der Hanfpflanzen waren nur geringe Unterschiede erkennbar. Eine leichte Tendenz zu

höheren Pflanzen in den Varianten mit Bioro bestand. Saflor war ebenfalls mit Bioro am höchsten, gefolgt von den Kombinationen mit Julia und Tiffany. Je höher die Ackerbohnen-sorten, desto höher wurde auch Saflor. Die Höhe der Leindotterpflanzen wurde nur minimal von der Ackerbohnen-sorten beeinflusst.

In den Varianten mit drei Kulturen im Gemenge ließ sich erkennen, dass Saflor in der Variante mit Ackerbohne und Weißklee höher wurde als in der Variante, in der Leindotter oder Phacelia statt Weißklee gesät wurde. Allerdings ist nicht anzunehmen, dass fünf Pflanzen Phacelia pro Quadratmeter einen Effekt auf das Wachstum von Saflor hatten.

Die Ackerbohnen hatten in Reinsaat eine Wuchshöhe von 80 cm zur Blüte und 132 cm zur Ernte. Saflor war zur Ernte 103 cm hoch. Anders als die Erbsen waren die Ackerbohnen im Gemenge kleiner als in der Reinsaat, sowohl zur Blüte (Tabelle 34) als auch zur Ernte (Tabelle 35). Saflor war dagegen tendenziell etwas höher, wenn er mit Ackerbohnen zusammen angebaut wurde. Die Sorten Birgit und Stella werden vom BSA bezüglich der Pflanzenlänge gleich eingeschätzt. Dies spiegelte sich auch in dem Sortenversuch wider: Birgit wurde 110 cm und Stella 109 cm hoch. Die Sorte Jasmin erreichte mit 99 cm eine signifikant geringere Wuchshöhe als die beiden anderen Sorten. Die Unterschiede zeichneten sich bereits bei der Bonitur zur Blüte ab.

Saflor war zur Blüte in Kombination mit Jasmin signifikant niedriger als mit den anderen beiden Sorten. Zur Ernte war er in allen Varianten gleich hoch. Dies könnte auf eine Stimulation des Saflorwachstums bei erhöhter Konkurrenz, in diesem Fall erhöhter Pflanzenhöhe und damit Beschattung, hindeuten. Die Wuchshöhe der Ackerbohnen zur Blüte nahm mit steigender Ackerbohnen-Saatstärke (25, 35, 45 Kö/m<sup>2</sup>) von 71 auf 72 auf 75 cm zu. Zum Zeitpunkt der Ernte war dieser Zusammenhang weniger eindeutig. Die Wuchshöhe von Saflor blieb über alle Varianten zum Boniturzeitpunkt Blüte konstant und lag bei durchschnittlich 66 cm. Zur Ernte war er durchschnittlich 110 cm hoch, wobei es eine signifikante negative Korrelation zwischen Saatstärke und Wuchshöhe zur Ernte ( $r = -0,351$ ) gab. Unter engeren Reihenabständen zeigten sich, analog zu den Erbsen-Gemengen, grundsätzlich höhere Bestände als bei einem RA von 37,5 cm. Durch die positive Korrelation zwischen Ackerbohnen- und Saflorwuchshöhe ( $r = 0,962$ ) wird dies weiter verdeutlicht. Die Art der Ölfrucht hatte keine Auswirkungen auf die Wuchshöhe der Ackerbohne. In engen Reihen wurden die Ackerbohnen durchschnittlich 73 cm (Blüte) bzw. 122 cm (Ernte) hoch. Unter weitem RA erreichten sie eine Höhe von 67 cm (Blüte) und 110 cm (Ernte).

Im Jahr 2025 waren die Ackerbohnen zur Blüte mit 65 cm und zur Ernte mit 85 cm deutlich niedriger als im Vorjahr. Die Wuchshöhen von Leindotter und Saflor in Reinsaat lagen in einem ähnlichen Bereich wie 2024. Sie waren zur Blüte 71 cm und 60 cm und zur Ernte 80 und 105 cm hoch.

Im Saatstärkenversuch waren zur Blüte sowohl die Ackerbohnen als auch Saflor höher als im Sortenversuch. Dies liegt an der höheren Exposition der Pflanzen mit bodenbürtigen Schaderregern je nach Position des Versuchs auf der Fläche. Im Sortenversuch war dies am stärksten, was sich auch in den sehr niedrigen Wuchshöhen zur Ernte widerspiegelt.

Während die Pflanzen zur Blüte im Reihenversuch höher waren, waren sie zur Ernte im Saatstärkenversuch am höchsten, wobei die Unterschiede zur Ernte zwischen den beiden Versuchen abnahmen. Zwischen den einzelnen Varianten innerhalb der Versuche gab es nur geringfügige Unterschiede.

Die Wuchshöhen zur Ernte der Ackerbohnen-Sorten im Gemenge mit Saflor lagen, anders als 2024, in einem ähnlichen Bereich. Birgit war 70 cm hoch, und damit im Gemenge kleiner als in Reinsaat, Jasmin 75 cm und Ketu 78 cm. In diesem Versuch war auch der Gemengepartner Saflor zur Blüte mit 50 bis 53 cm niedriger als im Vorjahr. Zur Ernte wurde er mit 98 bis 101 cm höher als im Jahr 2024 und überwuchs die Ackerbohne nach der Blüte. Zwischen den verschiedenen Saatstärkenkombinationen ließen sich nur minimale Unterschiede feststellen. Die Ackerbohnen waren zur Blüte 55 bis 60 cm hoch und erreichten eine Endhöhe von durchschnittlich 95 cm. Saflor hatte eine Höhe von 54 bis 59 cm während der Blüte und wurde durchschnittlich 107 cm hoch. Im Reihenversuch blieb die Wuchshöhe der Ackerbohnen weitgehend unbeeinflusst vom Gemengepartner. Mit Saflor waren sie zur Blüte 68 und mit Leindotter 69 cm hoch. Zur Ernte waren sie mit Saflor 88 cm und mit Leindotter 80 cm hoch. Saflor war 64 cm bzw. 100 cm und Leindotter 75 cm bzw. 79 cm hoch.

**Tabelle 34:** *Wuchshöhen zur Blüte 2024 und 2025 in den Versuchen der Gemenge Ackerbohne/SFL (BA/SFL) und Ackerbohne/Leindotter (BA/LND) sowie der Reinsaaten (S = Saatstärke in Körner/m<sup>2</sup>, RA = Reihenabstand in cm, n. e. = nicht erfasst)*

Kultur/Gemenge	Variante	Wuchshöhe Ackerbohne in cm		Wuchshöhe Ölfrucht in cm	
		2024	2025	2024	2025
BA	Reinsaat	80	65		
LND	Reinsaat			65	71
SFL	Reinsaat			63	60
BA/SFL	BA-Sorte Birgit	69	54	59	53
BA/SFL	BA-Sorte Jasmin	56	51	55	50
BA/SFL	BA-Sorte Stella	72	-	58	-
BA/SFL	BA-Sorte Ketu	-	43	-	50
BA/SFL	S = BA45/SFL75	74	60	63	58
BA/SFL	S = BA45/SFL50	75	58	68	59
BA/SFL	S = BA45/SFL25	75	56	69	56
BA/SFL	S = BA35/SFL75	74	55	63	54
BA/SFL	S = BA35/SFL50	72	59	69	56
BA/SFL	S = BA35/SFL25	70	55	66	55
BA/SFL	S = BA25/SFL75	70	-	66	-
BA/SFL	S = BA25/SFL50	75	-	69	-

Kultur/Gemenge	Variante	Wuchshöhe Ackerbohne in cm		Wuchshöhe Ölfrucht in cm	
		2024	2025	2024	2025
BA/SFL	S = BA25/SFL25	67	-	65	-
BA/SFL	RA = 16	73	n. e.	64	n. e.
BA/SFL	RA = 37,5	69	68	62	64
BA/LND	RA = 16	72	n. e.	74	n. e.
BA/LND	RA = 37,5	67	69	71	75

*Tabelle 35: Wuchshöhen zur Ernte 2024 und 2025 in den Versuchen der Gemenge Ackerbohne/SFL (BA/SFL) und Ackerbohne/Leindotter (BA/LND) sowie der Reinsaat (S = Saatstärke in Körnern/m<sup>2</sup>, RA = Reihenabstand in cm, n. e. = nicht erfasst)*

Kultur/Gemenge	Variante	Wuchshöhe Ackerbohne in cm		Wuchshöhe Ölfrucht in cm	
		2024	2025	2024	2025
BA	Reinsaat	132	85	-	-
LND	Reinsaat			n. e.	80
SFL	Reinsaat			103	105
BA/SFL	BA-Sorte Birgit	110	70	93	98
BA/SFL	BA-Sorte Jasmin	99	75	91	101
BA/SFL	BA-Sorte Stella	109	-	91	-
BA/SFL	BA-Sorte Ketu	-	78	-	99
BA/SFL	S = BA45/SFL75	118	95	108	105
BA/SFL	S = BA45/SFL50	125	100	115	110
BA/SFL	S = BA45/SFL25	121	90	113	110
BA/SFL	S = BA35/SFL75	115	95	109	105
BA/SFL	S = BA35/SFL50	120	95	105	105
BA/SFL	S = BA35/SFL25	119	95	113	105
BA/SFL	S = BA25/SFL75	120		110	
BA/SFL	S = BA25/SFL50	119		109	
BA/SFL	S = BA25/SFL25	119		110	
BA/SFL	RA = 16	120	n. e.	108	n. e.
BA/SFL	RA = 37,5	108	88	100	100
BA/LND	RA = 16	120	n. e.	74	n. e.
BA/LND	RA = 37,5	114	80	75	79

### 5.4.3 Pflanzengesundheit

Kurz nach dem Auflaufen waren in allen Versuchsjahren deutliche Fraßschäden durch den Blattrandkäfer an den Ackerbohnenpflanzen erkennbar (Abbildung 41), die sich allerdings in den nächsten Wochen vollständig verwuchsen. Die Schäden sind in der Praxis meist weniger stark als befürchtet und eine Behandlung ist nur selten wirtschaftlich [137].

2023 waren die Pflanzen aufgrund von Trockenstress und geringer Konkurrenzkraft besonders anfällig für Krankheiten und Schadinsekten. In einigen Parzellen wiesen die Ackerbohnen Welkeerscheinungen auf, die nicht mit Sicherheit auf eine bestimmte Ursache zurückgeführt werden konnten (Abbildung 42). Sowohl eine allgemeine Welke aufgrund des gestörten Wasserhaushalts, verstärkt durch den erhöhten Wasserbedarf während der Blüte [90], als auch Viruserkrankungen waren denkbar. Auffällig war die ungleichmäßige Verteilung einzelner befallener Pflanzen innerhalb eines bestimmten Bereichs. Das Schadbild mit beginnender Welke kurz nach dem Auflaufen und kontinuierlichem Absterben der Pflanzen sprach für Fußkrankheiten. Diese wurden allerdings aufgrund der andauernden sehr trockenen Witterung als Ursache ausgeschlossen. Des Weiteren zeigte sich in allen Jahren ab Mitte Mai ein deutlicher Befall mit der Schwarzen Bohnenlaus (*Aphis fabae*) (Abbildung 43), der nach einsetzenden mehrtägigen Niederschlägen ab Ende Juni (2023), Mai (2024) bzw. Anfang Juni (2025) abschwächte. Blattläuse fungieren als Vektoren, weshalb eine Virusübertragung denkbar gewesen wäre. Dafür sprachen auch die Chlorosen, die Welke und sichelförmige kleine braune Flecken. Allerdings begann die Welke an den älteren Blättern, was unüblich für einen Virusbefall ist [82]. Chlorosen an den älteren Blättern in Zusammenhang mit Welke und ohne dunkle Blattadern bilden zudem ein Symptom für einen Stickstoffmangel [82]. Durch den Wassermangel und den dadurch gestörten Nährstofftransport aus dem Boden in die Pflanze ist von einem Stickstoffmangel auszugehen. An wenigen Pflanzen ließen sich kleine braune Flecken auf den Stängeln bzw. Blättern feststellen, die auf die Schokoladenfleckenkrankheit (*Botrytis fabae* und *B. cinerea*) oder die Brennfleckenkrankheit (*Ascochyta fabae*) hinwiesen. Der Befall ging auf die Hülsen und Samen der Ackerbohne über (Abbildung 46). Dies ist bei beiden Krankheiten denkbar. Verstärkend kam hinzu, dass Honigtau durch die Schwarze Bohnenlaus die Schokoladenfleckenkrankheit fördert [82]. Die geschwächten Pflanzen machten eine Mischinfektion als Erklärung wahrscheinlich.

Auch 2024 und 2025 zeigte sich bei den Ackerbohnen frühzeitig ein Befall mit *Botrytis* (*Botrytis fabae*) und ab Mitte Juli mit Ackerbohnen-Rost (*Uromyces viciae fabae*). Eine Fungizid-Behandlung wird nur bei sehr starkem Krankheitsdruck und hohen Ertragserwartungen empfohlen [145], da die Durchfahrverluste durch die Applikation sehr hoch sein können. Beim Befall mit Rost und *Botrytis* waren klare Unterschiede zwischen den Ackerbohnen-sorten erkennbar. Während Birgit und Stella einen ähnlich starken Befall zeigten, zeigte die Sorte Jasmin eine höhere Resistenz (Abbildung 44, Abbildung 45). Der Züchter spricht in der Sortenbeschreibung von einer sehr guten Resistenz der Sorte. Dies konnte in den Versuchen bestätigt werden. Im Jahr 2025 traten zusätzlich bodenbürtige Erreger auf, die zu Fußkrankheiten und schließlich zum Absterben der Ackerbohnenwurzeln führten (Abbildung 47). Der Sortenversuch war davon sehr stark betroffen, was auch die Wuchshöhen (vgl. 5.4.2) und Kornträge (vgl. 5.4.4) verdeutlichten. Dabei war die Sorte



Jasmin auf gleiche Weise betroffen war wie Birgit und Ketu. Eine erhöhte Toleranz oder Resistenz war nicht festzustellen. Auch Saflor hatte in diesem Versuch Schäden an den Wurzeln, allerdings in geringerem Ausmaß als bei den Ackerbohnen.



*Abbildung 41: Fraßschäden durch den Blattrandkäfer an Ackerbohnen Anfang Mai*



*Abbildung 42: Welken der Ackerbohnen führte zu Absterben Ende Juni 2023*



*Abbildung 43: Blattlausbefall einer Ackerbohnenpflanze Anfang Juni 2024*





*Abbildung 44: Sortenversuch des Gemenges Ackerbohne/Safflor Mitte Juli 2024, Parzellen der Sorte Jasmin setzen sich aufgrund besser Pflanzengesundheit ab*



*Abbildung 45: Ackerbohnen sorte Jasmin (rechts) zeigte bessere Resistenz gegenüber Botrytis und Rost im Vergleich zur Sorte Birgit (links)*





*Abbildung 46: Schwarzfärbung an Hülsen und Körnern der Ackerbohne im Jahr 2023*



*Abbildung 47: Schwarzbeinigkeit mit Absterben der Ackerbohnenwurzeln im Sortenversuch 2025 aufgrund Fußkrankungen*

In den Saflorbeständen gab es 2023 und 2024 einzelne Nester mit bis zu 80 cm Durchmesser, in denen Pflanzen direkt nebeneinander vollständig abgestorben waren (Abbildung 48). Die Pflanzen wiesen zunächst Chlorosen auf, die sich weiter zu Nekrosen entwickelten, woraufhin sie schließlich abstarben. Die Symptome sprachen nicht eindeutig für



eine Infektion mit *Alternaria carthami*, Botrytis oder *Fusarium oxysporum* f. sp. *carthamia*. Eine genaue Ursache ist auch nach Rückfrage bei dem Züchter nicht zu nennen. Möglicherweise könnten Drahtwürmer für diese Schäden verantwortlich gewesen sein. Saflor zeigte 2025 erstmalig Symptome eines Rostbefalls (vermutlich *Puccinia carthami*) (Abbildung 49). Nach der langen Feuchteperiode im Juli kam es zu einem Befall mit kleinen weißen Larven (vermutlich stängelbohrender Insekten, Lepidoptera) im oberen Teil des Stängels, von dort aus haben sie sich bis in die Körbchen gefressen (Abbildung 50).

Zudem trat Fäulnis auf. Die Körner selbst zeigten zwar keine Fraßschäden, allerdings ist davon auszugehen, dass die Kornfüllung durch das beschädigte Gewebe beeinflusst wurde. Dies betraf alle Varianten auf beiden Flächen, Gemenge mit Ackerbohne und Sojabohne sowie Saflor-Reinsaaten, gleichermaßen.



Abbildung 48: Nesterweises Absterben von Saflorpflanzen im Jahr 2023





Abbildung 49: Rost-Symptome an der Blattunterseite von Saflor im August 2025



Abbildung 50: Fortgeschrittener Befall mit Insektenlarven in Saflor-Körbchen im August 2025

#### 5.4.4 Kornerträge

Im Jahr 2025 war der Gesamtertrag des „Standards“ im Gemenge Ackerbohne/Safflor mit durchschnittlich 26,9 dt/ha etwas höher als im Jahr 2024 mit 24,2 dt/ha. Allerdings verschob sich das Verhältnis der Kulturen im Erntegut zugunsten der Ölfrucht. Während 2024 die Ackerbohnen 70 % des Gesamtertrags beanspruchten, waren es 2025 nur noch 68 %. Der Ölfruchtertrag im Gemenge verdoppelte sich von 7,3 dt/ha im Jahr 2024 auf 14,5 dt/ha im Jahr 2025. Im Sortenversuch ist diese Veränderung aufgrund der mangelnden Pflanzengesundheit der Ackerbohnen besonders stark ausgefallen. Die Reinsaatserträge der Ackerbohne lagen 2024 bei 27,4 dt/ha und 2025 bei 34,6 dt/ha. Im Jahr 2024 wurde ungedüngt 14,6 dt/ha und gedüngt 26,2 dt/ha Safflor geerntet. Beim Leindotter waren es 3,6 dt/ha und 9,8 dt/ha. 2025 waren es sowohl ungedüngt als auch gedüngt 19,9 dt/ha Safflor und 13,9 dt/ha bzw. 16,6 dt/ha Leindotter.

#### Drusch und Trennung der Gemengepartner

Beim Dreschen müssen bei den Einstellungen an der Maschine die Ansprüche beider Kulturen berücksichtigt werden. Für Safflor wird ein engerer Abstand von Korb zu Dreschtrömel zum gründlichen Ausdreschen benötigt, während er für Ackerbohne größer gewählt werden sollte. Hier war ein Kompromiss nötig, der die Gefahr für Bruchkorn bei der Ackerbohne im Vergleich zur Reinsaat erhöht. Im Jahr 2024 kam es, wie im Gemenge mit Erbsen, zu Bruchkorn (Abbildung 51). In Kombination mit Leindotter war dagegen besonders die Einstellung des Winds entscheidend. Ist er zu hoch, ergeben sich hohe Verluste der leichten Leindottersamen, die häufig noch in den Schoten stecken und mit ihnen herausgeweht werden. Als Konsequenz von wenig Wind beim Dreschen ergab sich ein unsauberes Erntegut mit hohem Besatz. Dadurch erhöhte sich im Vergleich zur Reinsaat der Reinigungsaufwand.



Abbildung 51: Aus dem Gemenge Ackerbohne/Safflor herausgereinigter Safflor enthielt 2024 nach dem ersten Reinigungsdurchlauf noch einen hohen Anteil an Ackerbohnen-Bruchkorn



### Sortenversuche

Zwischen Leguminosen- und Gesamtertrag des Gemenges wurde im Sortenversuch 2024 eine Tendenz zur positiven Korrelation beobachtet (Abbildung 52). Der Saflorertrag war statistisch signifikant positiv mit dem Gesamtertrag korreliert ( $r = 0,643$ ). Der Gesamtertrag der Variante mit der Ackerbohnsorte Jasmin lag bei 28,0 dt/ha und war signifikant höher als mit Birgit (23,0 dt/ha). Mit der Sorte Stella wurden 24,4 dt/ha erzielt. Sie wird laut BSA als etwas ertragsstärker beschrieben als Birgit. Für die Sorte Jasmin führt das BSA noch keine Sorteneigenschaften auf. Laut Züchter (I. G. Pflanzenzucht GmbH) soll eine Ertragssteigerung um 10 % im Vergleich zu ähnlichen Ackerbohnsorten möglich sein [87]. Beides wurde in diesem Versuch gezeigt. Der Saflorertrag war in Kombination mit Jasmin mit 7,9 dt/ha am höchsten und mit Stella und 5,9 dt/ha am niedrigsten. Anders als die Leindottererträge im Erbsensortenversuch schwankten die Saflorerträge zwischen den Varianten. 2025 war der Kornertrag der Sorte Ketu (10,5 dt/ha) signifikant höher als der von Jasmin (6,5 dt/ha). Der Kornertrag von Birgit nahm im Vergleich zum Jahr 2024 um 44 % auf 9,2 dt/ha ab und unterschied sich nicht signifikant von dem der anderen beiden Sorten. Der Saflorertrag lag in der Variante mit Ketu bei 14,6 dt/ha. Im Gemenge mit Birgit und Jasmin wurden jeweils 15,4 dt/ha geerntet. Im Vergleich zum Jahr 2024 entspricht dies einer Zunahme des Saflorertrags im Gemenge mit Birgit um 141 %.

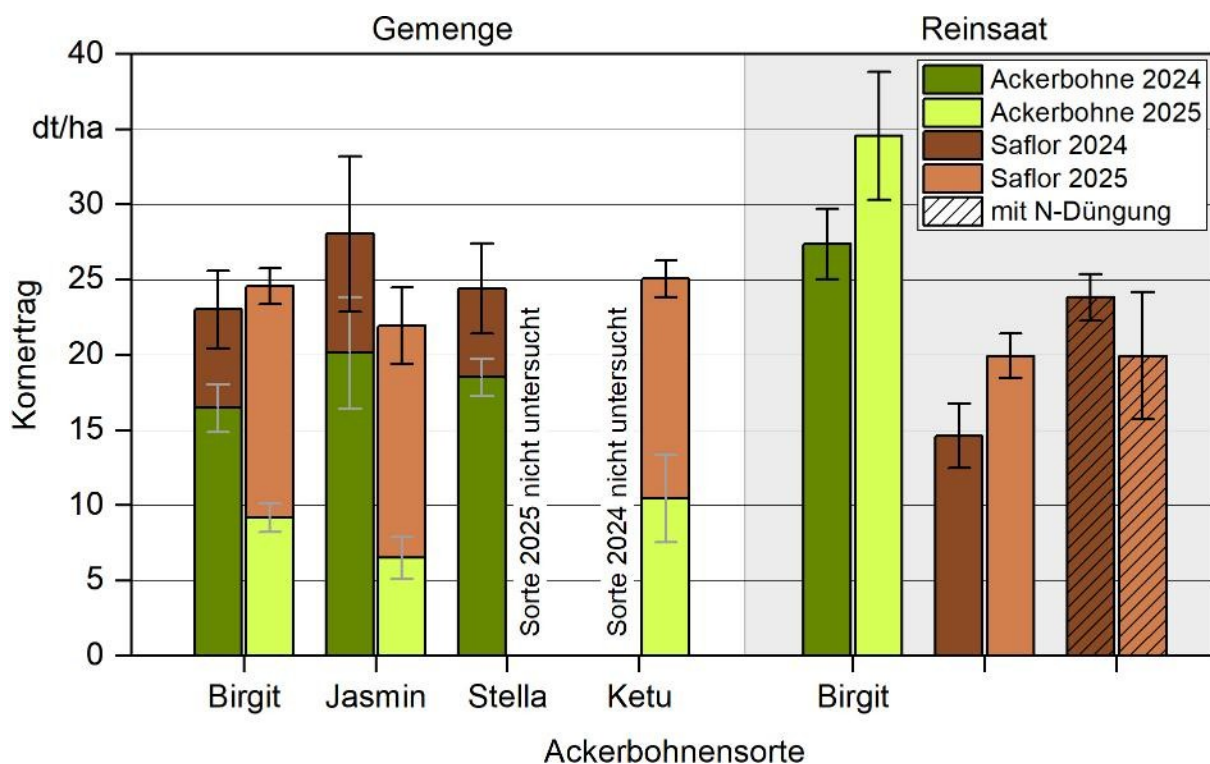


Abbildung 52: Kornertrag der Reinsaaten sowie des gesamten Gemenges und Ertragsanteile von Ackerbohne und Saflor im Sortenversuch,  $n = 4$

### Saatstärkenversuche

Im Saatstärkenversuch waren die Erträge der Standard-Variante mit 35 Kö/m<sup>2</sup> Ackerbohne und 50 Kö/m<sup>2</sup> Saflor denen der Variante mit Sorte Birgit im Sortenversuch sehr



ähnlich (Abbildung 53). Der Saflorertrag war um 1,1 dt/ha höher. Dies lässt sich durch die Staunässe, die zwar auch in den Bereichen des Saatstärkenversuchs auftrat, aber beim Sortenversuche länger anhielt, erklären. Saflor war empfindlicher gegenüber der Staunässe und daher im Saatstärkenversuch konkurrenzstärker. Die steigende Ackerbohnen-Saatstärke (25, 35, 45 Kö/m<sup>2</sup>) führte zu steigenden Ackerbohnenenerträgen von 12,5 auf 15,6 und 15,8 dt/ha. Eine positive Korrelation wurde festgestellt ( $r = 0,397$ ). Die Saflorerträge waren negativ mit der Ackerbohnen-Saatstärke korreliert ( $r = -0,350$ ) und nahmen von 9,7 über 8,1 auf 8,0 dt/ha ab. Zwischen der Saflor-Saatstärke und den Ertragsdaten waren keine signifikanten Korrelationen festzustellen. Bei der Erhöhung der Saflor-Saatstärke von 25 auf 50 Kö/m<sup>2</sup> stieg der Saflor- wie auch der Ackerbohnenenertrag, unabhängig von der Ackerbohnen-Saatstärke. Zwischen der mittleren und hohen Ackerbohnen-Saatstärke waren kaum Ertragsunterschiede erkennbar.

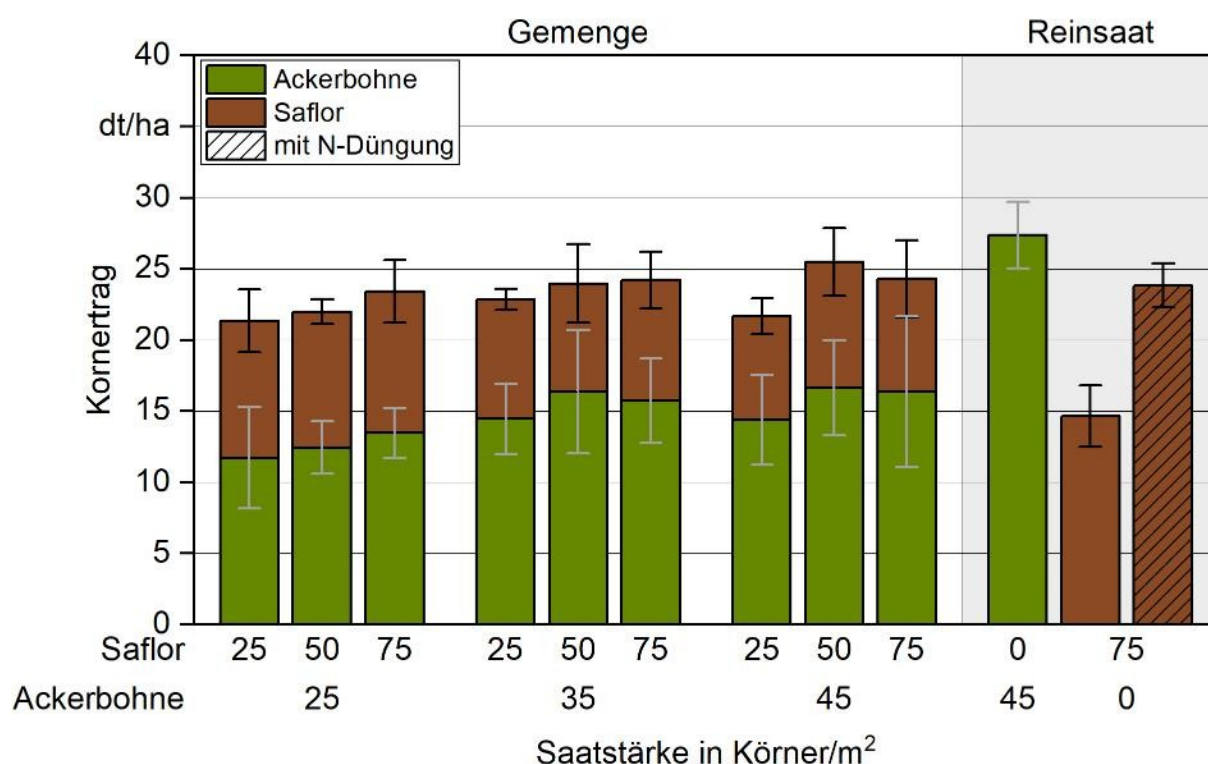


Abbildung 53: Korntrag der Reinsaaten sowie des gesamten Gemenges und Ertragsanteile von Ackerbohne und Saflor im Saatstärkenversuch 2024,  $n = 4$

Im Jahr 2025 waren die Schwankungen der Ackerbohnen sowie der Saflor- und Gesamterträge zwischen den verschiedenen Saatstärken weniger stark (Abbildung 54). Der Ackerbohnenenertrag lag zwischen 12,4 und 14,0 dt/ha und der von Saflor zwischen 14,3 und 15,4 dt/ha. Es waren weder signifikante Unterschiede vorhanden noch Tendenzen ersichtlich. Das Verhältnis der beiden Kulturen hinsichtlich der Anteile am Erntegut war ausgeglichen. Der Anteil der Ackerbohnen lag zwischen 45 und 48 %.

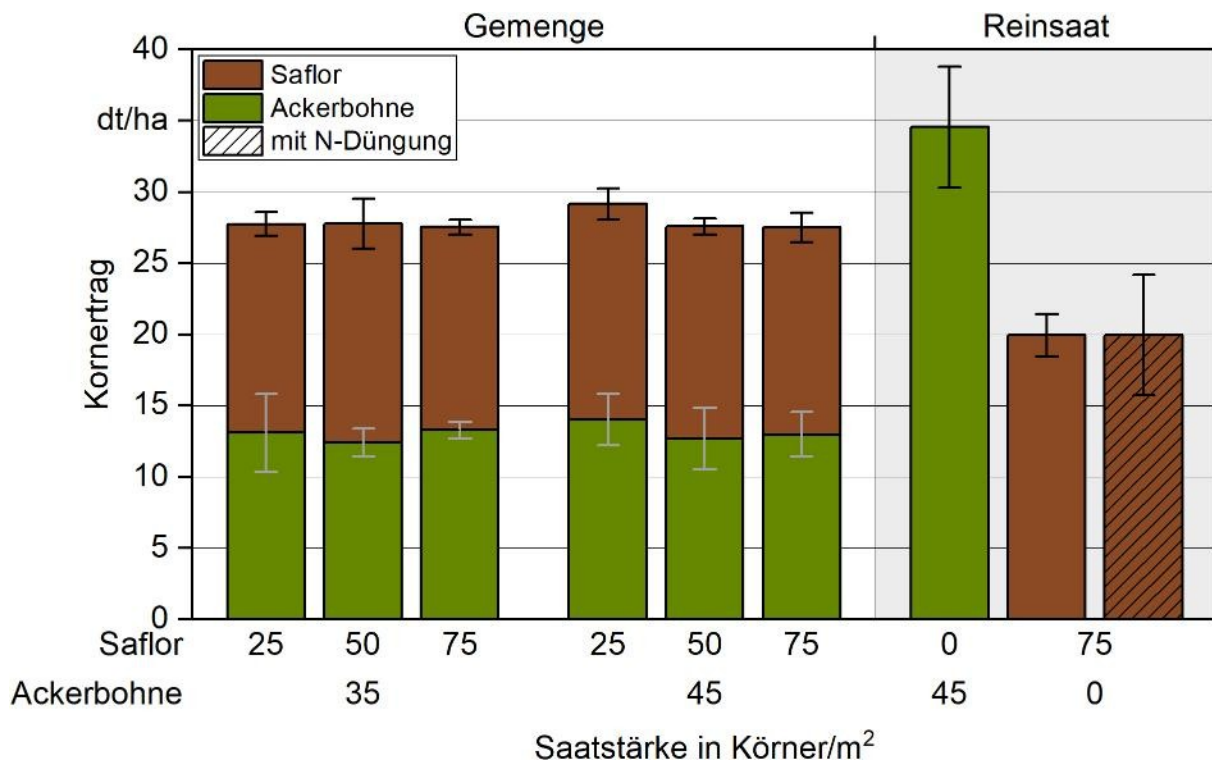


Abbildung 54: Kornertrag der Reinsaaten sowie des gesamten Gemenges und Ertragsanteile von Ackerbohne und Saflor im Saatstärkenversuch 2025,  $n = 4$

### Reihenversuche

Sowohl der Gemengepartner als auch der RA hatten Auswirkungen auf die Ackerbohnerträge. Die Kombination mit Leindotter führte in beiden Jahren zu höheren Ackerbohnerträgen, in Kombination mit Saflor wurden höhere Gesamterträge erreicht (Abbildung 55). Für Körnerhanf war keine Ertragsermittlung möglich. Hanf benötigt während des Jugendwachstums hohe Stickstoffmengen, die ihm aufgrund ausbleibender Stickstoffdüngung nicht zur Verfügung standen. Er blieb in seinem Wachstum zurück und wurde schließlich durch die höhere Beschattung der Ackerbohnen im Vergleich zur Erbse vollkommen unterdrückt.

Für 2025 liegen nur Erträge aus Varianten mit weitem RA vor, da der Beikrautdruck ohne mechanische Regulierung in den engen Reihen zu hoch war und die Parzellen überwiegend aufgegeben werden mussten (vgl. 5.2). Die Gesamterträge der Gemenge waren im Jahr 2025 tendenziell höher. Dies ist durch den Anstieg des Leindotter- bzw. Saflorertrags bedingt. Letzterer stieg von 7,9 dt/ha (2024) auf 12,9 dt/ha (2025). Leindotter erzielte 2024 1,7 dt/ha, während es 2025 5,7 dt/ha waren. Allerdings war der Leindotterertrag im Gemenge mit Ackerbohne nach wie vor niedriger als im Gemenge mit Erbse.

Bei der Erhöhung des Reihenabstands von 16 auf 37,5 cm kam es 2024 zu einer tendenziellen Abnahme des Gesamt- und Ackerbohnertrags im Gemenge Ackerbohne/Leindotter von 24,8 auf 22,7 dt/ha und 23,5 auf 21,0 dt/ha. Der Leindotterertrag war mit 1,3 dt/ha bei einem RA von 16 cm und 1,7 dt/ha bei 37,5 cm sehr gering. Der Gesamtertrag im Gemenge Ackerbohne/Saflor blieb bei der Erhöhung des Reihenabstands unverändert, wobei sich der Ackerbohnertrag von 21,5 auf 17,7 dt/ha reduzierte und der

Saflorertrag von 4,9 auf 7,9 dt/ha erhöhte. Die Ergebnisse bestätigten die Beobachtungen aus dem Reihenversuch mit Erbsen, wonach Saflor von weiten Reihen profitiert. Er ist konkurrenzstärker als Leindotter und verdrängt demnach die Leguminose stärker, sobald die Bedingungen besser zu seinen Bedürfnissen passen. Die Auswirkungen von Saflor als Gemegepartner haben sich allerdings in Kombination mit Ackerbohne weniger stark gezeigt als mit Erbse, was auf eine höhere Konkurrenzkraft von Ackerbohnen hindeutet. Im Gemenge Ackerbohne/Leindotter zeigten sich niedrigere Leindottererträge als im Erbsengemenge. Die höhere Beschattung durch die Ackerbohne und damit eine verstärkte Unterdrückung im Vergleich zur Erbse könnte der Grund dafür gewesen sein.

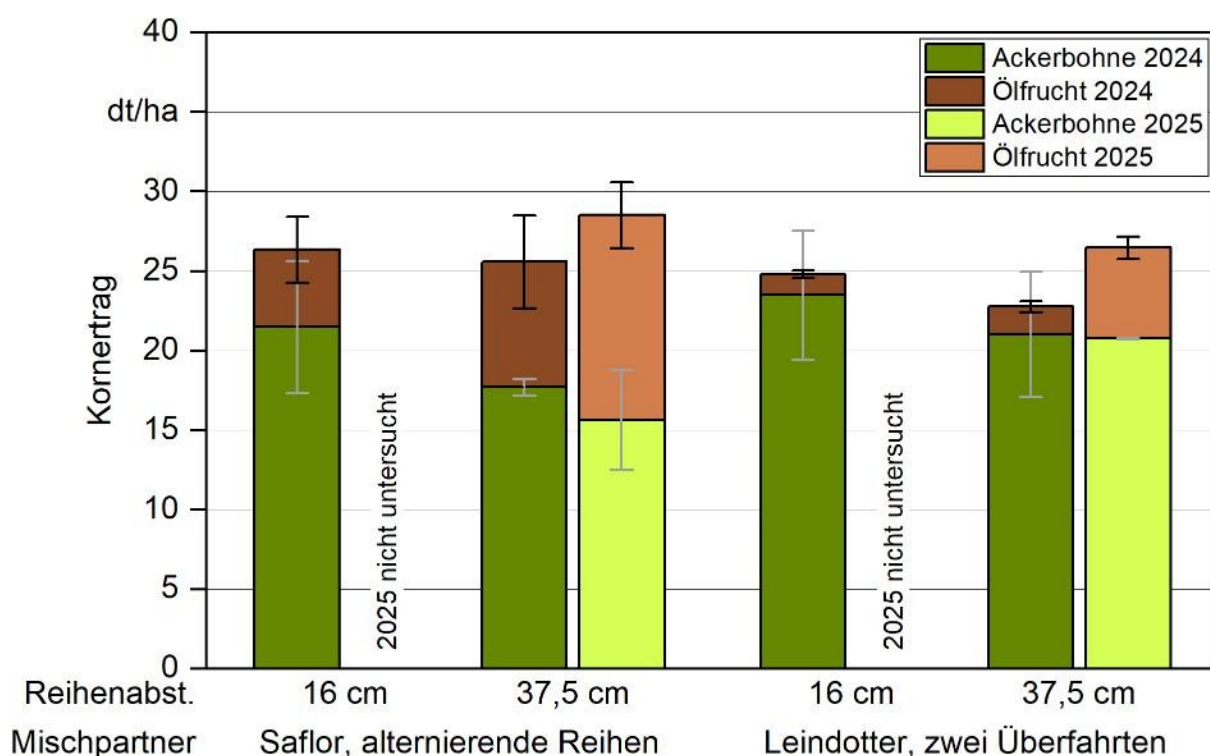


Abbildung 55: Kornertrag des gesamten Gemenges und Ertragsanteile von Ackerbohne und der jeweiligen Ölfrucht für zwei Reihenabstände (RA) im Reihenversuch, Körnerhanf wurde nicht berücksichtigt,  $n = 4$

### Zusätzliche Versuche

Im Versuch mit gleicher Ablagetiefe der Gemegepartner waren 2024 nur geringfügige Unterschiede zwischen alternierenden und gemischten Varianten erkennbar (Abbildung 56). Verschiedene optimale Saattiepen der Gemegepartner werden als Hindernis des Gemengeanbaus betrachtet [123]. In den Versuchen wurden jeweils auf die Einzelkultur abgestimmte Saattiepen, die durch alternierende Saat oder durch zwei Überfahrten, sichergestellt wurden, eine gemischte Saat mit gleicher Ablagetiefe beider Kulturen gegenübergestellt. Weder in den Versuchen mit Erbse noch in denen mit Ackerbohne zeigten sich entscheidende Unterschiede im Anbauerfolg. Auch die Ergänzung von Phacelia oder Weißklee hatte keine signifikanten Auswirkungen auf den Ertrag. Allerdings zeigte sich für alle Varianten, dass mit einem RA von 16 cm kontinuierlich höhere Ackerbohnenenerträge

erreicht wurden als bei 37,5 cm weiten Reihen. Dafür war ein wiederholter Handhackeinsatz notwendig. Zudem kam es durch mechanisches Hacken in weiten Reihen zu geringen Schäden an den Kulturpflanzen. Von einem Einfluss auf das Wachstum und schließlich den Korntrag ist auszugehen. Allgemein ergaben sich, wie auch bei den Erbsen, in diesem Versuch deutlich höhere Ackerbohnenenerträge, die auf die Gegebenheiten der Fläche zurückzuführen sind. Sie schwankten zwischen 30,9 und 36,5 dt/ha.

2025 zeigten sich ebenfalls kaum Unterschiede zwischen den Varianten. Eine geringfügige Tendenz zu höheren Saflorerträgen in alternierenden Reihen war erkennbar. In diesem Versuch lag der Schwerpunkt auf der Frage, ob eine gemischte Aussaat, die in der Praxis leichter und günstiger durchzuführen ist, sich bezüglich des Ertragsniveaus von der alternierenden Saat unterscheidet, für die zwei Saatgutbehälter oder zwei Überfahrten nötig sind.

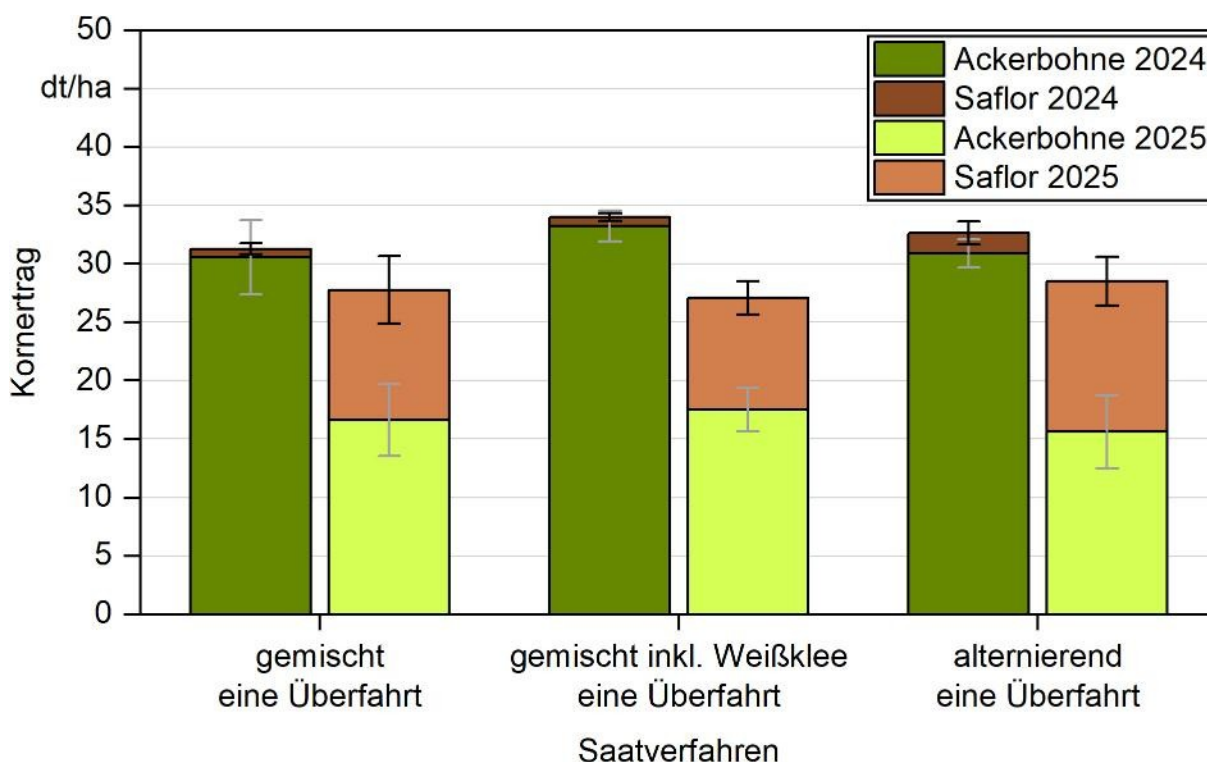


Abbildung 56: Korntrag des gesamten Gemenges und Ertragsanteile von Ackerbohne und Saflor bei Aussaat in ein oder zwei Überfahrten,  $n = 4$

#### 5.4.5 Relativer Flächenertrag

Zwischen den Varianten waren die Unterschiede gering, dies zeigte sich allerdings bereits in den Ertragsdaten. Die Werte mit ungedüngter Ölfrucht in Reinsaat als Vergleich (RYT-N) lagen 2024 stets über eins (Tabelle 36). Sie bewegten sich im Bereich zwischen 1,02 bis 1,25 und waren damit niedriger als bei den Erbsen-Gemengen (vgl. 5.3.5). Bei der Berechnung mit gedüngten Ölfrüchten ergaben sich 2024 nur Werte unter eins. Eine Ausnahme war das Gemenge mit der Sorte Jasmin, die einen RYT+N von 1,07 erreichte. 2025 hatte Saflor in ungedüngter sowie gedüngter Reinsaat identische Kornträge. Daher

gab es im Gemenge Ackerbohne/Saflor keine Unterschiede zwischen RYT-N und RYT+N. Der RYT lag in allen Varianten im Gemenge mit Saflor über eins. Eine Ausnahme war die Variante mit der Ackerbohnen-Sorte Jasmin. Allerdings ist die Berechnung des RYT im Sortenversuch kritisch zu sehen, da nur die Reinsaaterträge der „Standard“-Sorte Birgit bestimmt wurden. In diesen Gemengen lag der RYT zwischen 1,04 und 1,13. Die geringen Sortenerträge aufgrund verstärkten Befalls mit Fußkrankheiten werden auch beim Vergleich der „Standard“-Variante im Sortenversuch (RYT-N = 0,88) mit der identischen Variante im Reihenversuch (RYT-N = 0,98) sichtbar.

Im Gemenge mit Leindotter lag der RYT lediglich 2024 bei der Bestimmung mit ungedüngtem Leindotter (RYT-N) über eins. 2025 bewege er zwischen 0,94 (RYT-N) und 0,89 (RYT+N).

Die Flächeneffizienz des Gemenges Ackerbohne/Saflor entsprach insgesamt über alle Jahre ungefähr derjenigen der Reinsaat. Die Feststellung von KIESLING et al. (2008) [94], dass dieses Gemenge insbesondere unter Witterungsextremen erfolgreich ist, zeigte sich auch in diesem Projekt. Der RYT lag unter Bedingungen, die sich für nur eine der beiden Kulturen eigneten, über eins [94]. Die Konkurrenzfähigkeit von Saflor wurde als hoch beschrieben [134], weshalb er bei optimalen Bedingungen die Ackerbohne unterdrückt. Das wurde in diesen Versuchen bestätigt. SCHRÖDER et al. (2012) beschrieben, dass der Standort einen großen Einfluss auf den Erfolg des Gemenges hat. Wie auch in den Versuchen im Jahr 2024 dieses Projekts wurde in Überflutungsgebieten ein klarer Vorteil der Ackerbohnen festgestellt [141].

**Tabelle 36:** *Rechnerischer relativer Flächenertrag (RYT) der Ackerbohnen-Gemenge in den Jahren 2024 und 2025, berechnet mit gedüngter (RYT+N) und ungedüngter Ölfrucht (RYT-N)*

Gemenge	Versuch	Variante	RYT+N	RYT-N	RYT+N	RYT-N
			2024	2024	2025	2025
BA/SFL	BA-Sorte	Birgit	0,88	1,05	1,04	1,04
BA/SFL	BA-Sorte	Jasmin	1,07	1,28	0,96	0,96
BA/SFL	BA-Sorte	Stella	0,92	1,08	-	-
BA/SFL	BA-Sorte	Ketu	-	-	1,03	1,03
BA/SFL	Reihen	16 cm	0,99	1,12	-	-
BA/SFL	Reihen	37,5 cm	0,98	1,18	1,10	1,10
BA/LND	Reihen	16 cm	0,99	1,22	-	-
BA/LND	Reihen	37,5 cm	0,95	1,25	0,89	0,94
BA/SFL	Saatstärken	BA25/SFL75	0,91	1,17	-	-
BA/SFL	Saatstärken	BA25/SFL50	0,85	1,11	-	-
BA/SFL	Saatstärken	BA25/SFL25	0,83	1,09	-	-
BA/SFL	Saatstärken	BA35/SFL75	0,93	1,15	1,10	1,10



Gemenge	Versuch	Variante	RYT+N 2024	RYT-N 2024	RYT+N 2025	RYT-N 2025
BA/SFL	Saatstärken	BA35/SFL50	0,92	1,12	1,13	1,13
BA/SFL	Saatstärken	BA35/SFL25	0,88	1,10	1,11	1,11
BA/SFL	Saatstärken	BA45/SFL75	0,93	1,14	1,10	1,10
BA/SFL	Saatstärken	BA45/SFL50	0,95	1,21	1,11	1,11
BA/SFL	Saatstärken	BA45/SFL25	0,83	1,02	1,16	1,16

#### 5.4.6 Kornqualität

Die Rohprotein-Gehalte von Ackerbohne unterschieden sich nur wenig zwischen der Reinsaatvariante und den Gemengen. In Reinsaat hatten sie einen RP-Gehalt von 25,1 % im Jahr 2024 und 26,4 % im Jahr 2025. Im Standard-Gemenge mit Saflor lag der RP-Gehalt 2024 bei durchschnittlich 25,9 % und 2025 bei 26,7 %. In Kombination mit Leindotter war er etwas höher als mit Saflor und in weiten Reihen etwas höher als bei einem RA von 16 cm (Tabelle 37). Die Körner der Sorte Birgit hatten mit 26,1 % (2024) und 26,6 % (2025) den höchsten RP-Gehalt. Jasmin und Stella zeigten 2024 keine Unterschiede und lagen bei 24,7 und 24,8 %. 2025 hatte Jasmin einen RP-Gehalt von 24,8 % und Ketu 24,7 %. Mit zunehmender Ackerbohnen-Saatstärke (25 auf 45 Kö/m<sup>2</sup>) wurde 2024 eine kontinuierlich abnehmende Tendenz des RP-Gehalts von 26,0 auf 24,5 % beobachtet. Dies hat sich 2025 mit der Zunahme von 35 auf 45 Kö/m<sup>2</sup> bestätigt. Der RP-Gehalt nahm von 26,8 auf 25,8 % leicht ab. Die Saatstärke von Saflor hatte keinen eindeutigen Einfluss auf die RP-Gehalte der Ackerbohne.

Der Ölgehalt von Saflor lag im Standard-Gemenge bei durchschnittlich 21,7 % (2024) und 17,3 % (2025). Im Vergleich dazu wurden in den ungedüngten Reinsaat mit 22,4 % (2024) und 19,2 % (2025) etwas niedrigere Ölgehalte erreicht. In weiten Reihen waren die Ölgehalte sowohl für Leindotter als auch Saflor höher als in engen Reihen. Dies wurde für die Kombinationen mit Saflor sowohl im Erbsen- als auch Ackerbohnergemenge beobachtet. Bei höherer Ackerbohnen-Saatstärke nahm der Ölgehalt von Saflor 2025 tendenziell zu. Auffällig war der niedrige Ölgehalt von Leindotter mit 28,1 und 33,4 % (2024) sowie 33,9 % (2025) im Vergleich zu den Versuchen des Erbsen-Gemenges.

**Tabelle 37:** Rohprotein- und Ölgehalt verschiedener Kulturen im Ackerbohnen-Gemenge im Vergleich zur Reinsaat

Versuch	Variante	Rohproteingehalt der Ackerbohne % in TM		Ölgehalt der Ölfrucht % in TM	
		2024	2025	2024	2025
Reinsaat	Ackerbohne	25,1	26,4		
	Leindotter -N			36,4	37,0
	Leindotter +N			34,9	36,0
	Saflor -N			22,4	19,2
	Saflor +N			21,6	18,3
Reihenversuch	BA/LND 16 cm	25,3	n. e.	28,1	n. e.
	BA/LND 37,5 cm	25,7	24,5	33,4	33,9
	BA/SFL 16 cm	24,8	n. e.	20,6	n. e.
	BA/SFL 37,5 cm	25,3	26,8	21,0	16,7
Sortenversuch	Birgit	26,1	26,6	21,2	n. e.
	Jasmin	24,7	24,8	22,8	n. e.
	Ketu		24,7	-	n. e.
	Stella	24,8	-	21,0	-
Saatstärkenversuch	BA25/SFL25	25,1	-	21,5	-
	BA25/SFL50	26,5	-	22,8	-
	BA25/SFL75	26,4	-	22,4	-
	BA35/SFL25	23,7	26,9	22,0	17,5
	BA35/SFL50	26,2	26,8	22,9	17,9
	BA35/SFL75	25,4	26,7	21,6	16,7
	BA45/SFL25	25,1	26,2	21,7	18,7
	BA45/SFL50	24,6	25,3	22,0	18,6
	BA45/SFL75	23,8	25,9	20,8	18,7

## 5.5 Versuche mit Sojabohne

### 5.5.1 Entwicklung

Analog zu den Versuchen mit Erbse und Ackerbohne gab es auch für die Sojabohnen-Versuche im Jahr 2023 witterungsbedingt zwei Saattermine. Die Pflanzen, die am 20./21.05. gesät worden waren (Reihenversuch, Reinsaaten), liefen aufgrund der Witterungsbedingungen nur vereinzelt auf. Eine Weiterführung der Versuche war aufgrund des sehr geringen Feldaufgangs zusammen mit hohem Beikrautdruck nicht sinnvoll (Abbildung 57). Die früher gesäten Pflanzen fielen in den üblichen Saatzeitraum für Sojabohnen.

Trotzdem entwickelten sich die Bestände nur langsam. Leindotter dominierte aufgrund der Trockenheit die Bestände, allerdings litt er ebenfalls unter Wassermangel (Abbildung 58). Die Blüte begann Anfang Juli und dauerte bis Mitte Juli an. Die Pflanzen wuchsen aufgrund der Witterungsbedingungen sehr langsam und erreichten eine geringe Höhe. Es entwickelte sich ein zunehmender Beikrautdruck. Aufgrund der engen Reihenabstände war eine mechanische Regulierung nicht möglich und die Versuche mussten frühzeitig aufgegeben werden.

Die Sojabohnen hatten 2024 im Gemenge mit Saflor einen Feldaufgang von 94 %, in Kombination mit Körnerhanf liefen 90 % auf. Der Feldaufgang von Saflor betrug 100 %, bei Körnerhanf 62 %. Die Sojabohnen fingen um den 28.06. an, die Blütenanlagen (BBCH 51) auszubilden. Am 09.07. gingen sie in das Makrostadium der Blüte über und erreichten am 18.07. die Vollblüte (BBCH 65). Ende Juli wechselten sie in das Stadium der Frucht- und Samenentwicklung und schlossen die Entwicklung mit der Vollreife am 17.09. (BBCH 89) ab (Tabelle 38). Leindotter befand sich im Gemenge mit Sojabohne vom 05.06. bis 15.07. in der Blüte und erreichte die Kornreife am 02.09., deutlich vor Sojabohne und Saflor. Dies hatte 2024 die Konsequenz, dass der Großteil der Leindotterkörner zur Ernte bereits ausgefallen war. Bei der späteren Saat im Vergleich zur Saat mit Erbse und Ackerbohne, entwickelte sich Leindotter zögerlich und war anfällig für Krankheiten (vgl. 5.5.3). Das zeigte sich auch in der verminderten Wuchshöhe (vgl. 5.5.2), wodurch ihn die Sojabohnen vollständig überwuchsen.

Saflor entwickelte sich auch bei später Saat gut und befand sich bis Ende Juni in der vegetativen Phase. Am 18.07. wurde der Übergang in die Blüte dokumentiert. Die Vollblüte erreichten die Pflanzen Mitte August. Die Frucht- und Samenentwicklung begann um den 12.08. Die Samenreife erreichte er am 11.09. Auch Körnerhanf entwickelte sich analog zur früheren Saat entsprechend mit einer Verzögerung von ca. zwei Wochen. Allerdings zeigten die Pflanzen keine Stickstoffmangelsymptome. Die Sojabohnen-Versuche standen auf einer anderen Fläche als Erbse und Ackerbohne, die einen höheren  $N_{\min}$ -Gehalt aufwies, die Hanfpflanzen waren also besser mit Stickstoff versorgt. Daraus resultierten wüchsiger Bestände im Vergleich zum Gemenge mit Erbse und Ackerbohne (Abbildung 59, Abbildung 20). Körnerhanf ist dafür bekannt, von gut erwärmten Böden zu profitieren [58]. Daher war die Saat Mitte Mai mit Sojabohne für seine Entwicklung förderlich. Die Samenreife erreichte er um den 02.09.

Saflor war im Gemenge zum Zeitpunkt der Druschreife der Sojabohnen bereits ausgewachsen (vgl. 5.1). In den Gemengen mit Saflor reiften die Sojabohnen langsamer ab als in Reinsaat. Dies lässt sich durch die länger grünen Bestände der Saflorpflanzen begründen. Es ist von einem feuchteren Mikroklima im Bestand auszugehen, wodurch auch die Sojabohnen langsamer abtrockneten.



*Abbildung 57: Ausbleibender Feldaufgang im Gemenge Sojabohne/Leindotter bei späterer Saat 2023*



*Abbildung 58: Gemenge Sojabohne/Leindotter bei früherer Saat 2023*



**Tabelle 38:** *Entwicklung von Sojabohnen, Leindotter und Saflor, Blüte entspricht BBCH von 60 bis 69, Kornfüllung entspricht BBCH von 70 bis 89*

		2023	2024	2025
Aussaat		09.05. (bzw. 20./21.05.*)	14./15.05.	23.04.
Blüte	Sojabohne	03.07.–24.07.	09.07.–28.07.	24.06.–14.07.
	Leindotter	19.06.–03.07.	05.06.–15.07.	06.06.–22.06.
	Saflor	03.07.–31.07.	18.07.–11.08.	14.07.–07.08.
Kornfüllung	Sojabohne	25.07.–Umbruch	29.07.–17.09.	15.07.–16.09.
	Leindotter	04.07.–Umbruch	16.07.–02.09.	23.06.–07.08.
	Saflor	31.07.–Umbruch	12.08.–11.09.	08.08.–09.09.

\* Witterungsbedingter, verspäteter Saattermin des Reihen- und Reinsaatversuchs; Blüte und Kornfüllung beziehen sich auf ersten Termin



**Abbildung 59:** *Gemenge Sojabohne/Körnerhanf Ende Juli 2024*

2025 war der Feldaufgang im Sortenversuch der Sojabohnen niedrig. Von der Sorte ES Comandor liefen 27 % (unter Ausschluss der vierten Wiederholung waren es 34 %), von Sussex 33 %, von ES Compositor 58 %, von Ascada 41 %, von Arcardia 54 %, von Adelfia 64 % und von Sahara 50 % der gesäten keimfähigen Körner auf. Der Feldaufgang von Leindotter war zwar besser als in Kombination mit Erbse oder Ackerbohne, mit 49 % aber trotzdem niedrig. In Kombination mit Saflor liefen 31 % der Sojabohnen (ES Comandor) und 64 % des Saflors auf. In Reinsaat liefen 32 % Sojabohnen, 41 % Saflor und 26 % Leindotter auf. Nach der Saat am 23.04. entwickelten sich die Sojapflanzen zögerlich. Die Blüte verlief vom 24.06 bis 14.07. Im gemischt gesäten Gemenge mit Leindotter waren die



Sojabohnen nicht in der Lage sich durchzusetzen und bildeten teilweise nur wenige Blätter pro Pflanze aus. In einigen Parzellen, insbesondere Wiederholung 4, waren nur wenige Sojapflanzen vorhanden. Der Hülsenansatz der Sojabohnen war im Vergleich zur Reinsaat sehr gering (Abbildung 60). Leindotter blühte im Juni und war bereits am 07.08. reif. Anders als im Jahr 2024 blieben die Schoten überwiegend bis zum Zeitpunkt der Sojareife geschlossen. Dadurch entstanden nur geringe Verluste durch Kornausfall. Mitte September erreichten die Sojapflanzen die Druschreife, wobei sich die Sorten in ihrer Abreife unterschieden (Tabelle 39). In Kombination mit Saflor, und damit in alternierenden Reihen, konnten sich die Sojapflanzen besser entwickeln (Abbildung 61). Saflor blühte vom 14.07. bis zum 07.08. und erreichte am 09.09. die Samenreife. Durch die feuchten Bedingungen erschwerte sich die Ernte (vgl. 5.1). Der Befall mit Larven und die Fäulnis in den Körbchen (vgl. 5.5.3) machten die Bestände wenig erntewürdig. Beim Drusch mit Saflor kam es durch feuchtes Material zu Verstopfungen des Parzellenmähdreschers. Teilweise verschleppte sich bei der Erfassung des Parzellenertrags Erntegut in die nächste Ernteparzelle. Von einer Verfälschung der Kornerträge muss daher ausgegangen werden. Daher wurden in dieser Kombination keine weiteren Ertragsauswertungen und Qualitätsanalysen durchgeführt.



*Abbildung 60: Hülsenansatz von Sojabohne im Gemenge mit Leindotter (links) und in Reinsaat (rechts) Mitte August 2025*

*Tabelle 39:      Sortenunterschiede im Verlauf der Abreife bei Sojabohne anhand BBCH-Stadien im Jahr 2025*

Sojabohnensorte	BBCH am 09.09.	BBCH am 16.09.	BBCH am 22.09. (Ernte)
ES Comandor	82	87	89
Sussex	88	88	89
ES Compositor	83	83	88
Ascada	85	86	88
Arcardia	86	86	89
Adelfia	82	86	88
Sahara	84	87	88



*Abbildung 61:      Entwicklung der Sojabohne Mitte Juli 2025 mit Saflor (links) und Leindotter (rechts)*

Bei spät geernteten Kulturen wie Sojabohne kann es je nach Saatzeitpunkt und Witterung schwierig werden, sie mit dem Gemengepartner gemeinsam zu dreschen. Leindotter war zwar auch mit Sojabohne nur in geringen Mengen ausgefallen, allerdings etablierte er sich 2024 aufgrund der späten Aussaat nur schlecht und erzielte geringe Erträge. 2025 war der Ausfall an Leindotter noch geringer und seine Entwicklung war zufriedenstellend, allerdings waren die Sojabohnen so mangelhaft entwickelt (Abbildung 60), dass das Gemenge nicht als erfolgreich angesehen werden kann. Je später geerntet werden muss, desto höher wird das Risiko von Saflor, noch auf der Pflanze auszuwachsen. Wenn sich die Witterung durch andauernde Niederschläge, geringe Temperaturen und wenig Wind auszeichnet, besteht die Gefahr, dass sich Saflorkörbchen mit Wasser vollsaugen und nicht mehr abtrocknen. Dadurch kam es zum Auswuchs, das heißt zur Keimung noch auf der Pflanze. Dies war 2024 und 2025 im Gemenge mit Sojabohne zu beobachten.

### 5.5.2 Wuchshöhe

Zum Zeitpunkt des Umbruchs 2023 war bei den Sojabohnen, anders als für Erbse und Ackerbohnen, das Längenwachstum noch nicht abgeschlossen. Die Wuchshöhe der Sojabohnensorte Adelfina zeigte nach wie vor ein lineares Wachstum. Die Endhöhe war noch nicht erreicht. In Kombination mit Leindotter waren Pflanzen der Sorte Adelfina und ES Comandor höher als die der Sorte Governor. Im Gemenge mit Saflor war ebenfalls Adelfina am höchsten, gefolgt von Governor. Sowohl Leindotter als auch Saflor waren in Kombination mit Governor am höchsten, gefolgt von Adelfina und am kleinsten mit ES Comandor. Die Tendenz zu höherem Wachstum der Ölpflanzen bei niedrigeren Sojasorten war erkennbar. Interessant ist, dass die Sorte ES Comandor mit Saflor sehr niedrig war (35 cm), in Kombination mit Leindotter dagegen deutlich höher (60 cm). Dies lässt sich durch die höhere Konkurrenzkraft von Saflor, insbesondere durch hohe Beschattung aufgrund der Wuchshöhe und der ausladenden Wuchsform, erklären. Beide Ölpflanzen waren in Mischung mit Governor am höchsten und mit ES Comandor am niedrigsten.

Im Jahr 2024 waren die Sojabohnen in Reinsaat zur Blüte 87 cm hoch und erreichten eine Endhöhe von 103 cm (Tabelle 40). Sojabohnen wurden im Gemenge allgemein niedriger als in Reinsaat. Die Sojabohnensorte hatte Einfluss auf die Wuchshöhe. Achillea hatte mit 75 cm zur Blüte und 84 cm zur Ernte eine signifikant niedrigere Wuchshöhe als die anderen Sorten. Sahara erreichte eine Endhöhe von 102 cm und ES Comandor 99 cm. Zur Blüte waren beide 81 cm hoch. Nach Angaben des BSA wurde Sahara mit der höchsten Pflanzenlänge ausgewiesen. Diese Tendenz zeigte sich auch in diesem Versuch. Zwischen den unterschiedlichen Sojabohnen-Saatstärken zeigte sich lediglich eine leichte Tendenz einer höheren Endlänge mit 98 cm der Sojabohnen bei der mittleren Saatstärke von 53 Kö/m<sup>2</sup>. Im Vergleich dazu wurden die Pflanzen bei 35 Kö/m<sup>2</sup> Saatstärke 93 cm und bei 70 Kö/m<sup>2</sup> 95 cm hoch. Zur Blüte waren noch keine Unterschiede festzustellen. Die Saflorpflanzen wurden tendenziell etwas höher mit abnehmender Saflor- und Sojabohnen-Saatstärke. Die Unterschiede zwischen den Varianten waren gering. Im Saatstärkenversuch wurde eine leicht positive Korrelation zwischen der Wuchshöhe von Sojabohne und Saflor zur Ernte beobachtet ( $r = 0,411$ ).

In den Versuchen zum Gemengepartner und den Reihenabständen wurden im Vergleich zu den anderen Versuchen mit Sojabohne höhere Wuchshöhen beobachtet. In Kombination mit Körnerhanf gab es kaum Veränderungen der Wuchshöhe beider Partner aufgrund der Erhöhung der Reihenweite. Hanf war zur Ernte durchschnittlich 81 cm hoch, zeigte allerdings eine hohe Heterogenität bezüglich der Wuchshöhe. Im Gemenge Sojabohne/Leindotter gab es eine Tendenz zu höherem Wuchs beider Partner in weiteren Reihen. Auffällig war der geringe Höhenunterschied zwischen Blüte und Ernte. In Kombination mit Saflor wurden zur Blüte signifikant höhere Wuchshöhen in engen Reihen erreicht. Zur Ernte hat sich diese Beobachtung für die Sojabohne umgekehrt, wobei keine Signifikanzen mehr feststellbar waren.



**Tabelle 40:** Wuchshöhen zur Blüte und Ernte 2024 der Gemenge Sojabohne/SFL (SJ/SFL) und Sojabohne/Leindotter (SJ/LND) sowie der Reinsaat (S = Saatstärke in Körnern/m<sup>2</sup>, RA = Reihenabstand, n. e. = nicht erfasst)

Kultur/ Gemenge	Variante	Wuchshöhe zur Blüte in cm		Wuchshöhe zur Ernte in cm	
		Sojabohne	Ölfrucht	Sojabohne	Ölfrucht
SJ	Reinsaat,	87	-	103	-
LND	Reinsaat		65		-
SFL	Reinsaat		63		103
SJ/SFL	SJ-Sorte ES Comandor	81	79	99	83
SJ/SFL	SJ-Sorte Sahara	81	83	102	86
SJ/SFL	SJ-Sorte Achillea	75	79	84	88
SJ/SFL	S = SJ70/SFL75	81	78	93	78
SJ/SFL	S = SJ70/SFL50	79	81	96	81
SJ/SFL	S = SJ70/SFL25	79	79	95	83
SJ/SFL	S = SJ53/SFL75	81	76	98	83
SJ/SFL	S = SJ53/SFL50	78	80	98	83
SJ/SFL	S = SJ53/SFL25	79	81	99	85
SJ/SFL	S = SJ35/SFL75	76	79	92	81
SJ/SFL	S = SJ35/SFL50	78	80	91	87
SJ/SFL	S = SJ35/SFL25	79	81	97	86
SJ/SFL	RA = 16 cm	90	94	100	97
SJ/SFL	RA = 37,5 cm	85	90	109	92
SJ/HF	RA = 16 cm	89	n. e.	97	82
SJ/HF	RA = 37,5 cm	88	n. e.	100	80
SJ/LND	RA = 16 cm	82	56	87	55
SJ/LND	RA = 37,5 cm	84	58	92	61

Wie bereits beschrieben (vgl. 5.5.1) entwickelten sich die Sojabohnen im Jahr 2025 langsam und wurden von den Ölfrüchten unterdrückt. Dies spiegelte sich in den Wuchshöhen wider (Tabelle 41). Die Sojabohnen waren niedriger als 2024. Zur Blüte hatte ES Comandor im Gemenge eine durchschnittliche Höhe von 43 cm. In Reinsaat waren sie mit 44 cm ungefähr gleichgroß. Die höchste Sorte war Acardia (48 cm). Zur Ernte war sie 54 cm hoch, ES Comandor wuchs nur noch geringfügig weiter und wurde durchschnittlich 47 cm hoch. Die Ölfrüchte waren zur Blüte höher als im Jahr 2024. Saflor war 90 cm hoch, Leindotter hatte über alle Varianten eine durchschnittliche Wuchshöhe von 80 cm. Zur Ernte waren die Höhen der Saflorpflanzen im Gemenge im Vergleich zum Zeitpunkt der Sojablüte gleich hoch. In Reinsaat wuchs Saflor dagegen stärker weiter und erreichte eine Endhöhe von 95 cm. Dies verdeutlicht die Konkurrenz zwischen den beiden

Gemengepartnern. Leindotter wuchs dagegen im Gemenge noch etwas weiter und erreichte eine Wuchshöhe von 85 cm zur Ernte, während er in der Reinsaat nur 80 cm hoch war. Während 2024 die Gemengepartner zur Blüte ungefähr gleich hoch und die Sojabohnen zur Ernte sogar etwas höher waren, zeigte sich 2025 die Dominanz der Ölfrüchte.

**Tabelle 41:** Wuchshöhen zur Blüte und Ernte 2025 der Gemenge Sojabohne/SFL (SJ/SFL) und Sojabohne/Leindotter (SJ/LND) sowie der Reinsaat

Kultur/ Gemenge	Variante	Wuchshöhe zur Blüte in cm		Wuchshöhe zur Ernte in cm	
		Sojabohne	Ölfrucht	Sojabohne	Ölfrucht
SJ	Reinsaat	44	-	50	-
LND	Reinsaat		80		80
SFL	Reinsaat		83		95
SJ/LND	SJ-Sorte ES Comandor	45	80	45	85
SJ/LND	SJ-Sorte Sussex	43	79	36	85
SJ/LND	SJ-Sorte ES Compositor	46	79	51	85
SJ/LND	SJ-Sorte Ascada	44	80	49	85
SJ/LND	SJ-Sorte Acardia	48	78	54	85
SJ/LND	SJ-Sorte Adelfia	43	80	45	85
SJ/LND	SJ-Sorte Sahara	46	79	51	85
SJ/LND	SJ-Sorte ES Comandor	43	82	50	79
SJ/SFL	SJ-Sorte ES Comandor	41	91	46	89
SJ/LND	SJ-Sorte Sussex	43	83	43	81
SJ/SFL	SJ-Sorte Sussex	41	89	44	89

### 5.5.3 Pflanzengesundheit

Einzelne Pflanzen der Sojabohne hatten 2023 einen schwachen Befall mit Falschem Mehltau (*Peronospora manshurica*), was sich durch gelbe bis braune Flecken an den Blättern zeigte. Insgesamt waren die Sojabohnenbestände in allen Versuchsjahren gesund und es wurden keine weiteren Krankheiten oder Schädlinge beobachtet. Dies ist ein wichtiger Vorteil gegenüber Leguminosen, wie beispielsweise der Ackerbohne, die aufgrund geringer Zuchtungsintensität anfälliger für Pflanzenkrankheiten sind.

Die jungen Sojabohnenpflanzen wiesen in allen Jahren Fraßschäden durch Hasen auf. Im ersten Jahr wurde der Zaun bereits am 17.06. entfernt, woraufhin es zu vermehrten Schäden kam. In den Folgejahren blieb der Zaun etwa einen Monat länger stehen. Im Jahr 2025 wurde der Zaun für die leichtere Durchführung von Pflegearbeiten für wenige Tage um BBCH-Stadium 14 abgebaut, was zu einem starken Fraß in den Reinsaat und Varianten mit alternierenden Reihen kam. Varianten mit Leindotter und Sojabohne in gemischter Reihe waren weniger betroffen.



Im Vergleich zu den Gemengen mit Erbse oder Ackerbohne zeigte Leindotter aufgrund der späteren Aussaat im Gemenge mit Sojabohne einen höheren Befall mit Falschem Mehltau (*Hyaloperonospora camelinae*). Im Jahr 2025 war dies weniger zu beobachten, da die Leindotter-Pflanzen, während der ersten feucht-kühlen Witterungsphase nach Saat, besser entwickelt und damit widerstandsfähiger waren. Die Saflorkörbchen waren wie im Gemenge mit Ackerbohne mit Insektenlarven befallen (vgl. 5.4.3).

#### **5.5.4      Kornerträge**

##### **Sortenversuche**

Das Jahr 2024 wies optimale Bedingungen für den Sojaanbau in Bayern auf. Es wurde in den Landessortenversuchen als „Soja-Rekordjahr“ bezeichnet und durchschnittlich 53 dt/ha gedroschen [83]. Im Reinsaat-Versuch wurden 37,5 dt/ha Sojabohnen geerntet. Die Sojabohnenerträge im Gemenge waren mit den Sorten Achillea mit 25,1 dt/ha und Sahara mit 22,7 dt/ha signifikant höher als die der Sorte ES Comandor mit 17,8 dt/ha (Abbildung 62). Die Gesamterträge zeigten lediglich Tendenzen zwischen den verschiedenen Sorten. Allerdings wurde analog zum Sortenversuch mit Erbse eine signifikante, positive Korrelation zwischen Leguminosen- und Gesamtertrag ( $r = 0,622$ ) festgestellt. Anders als in den Ackerbohnenversuchen war der Saflorertrag in der Variante mit geringstem Sojabohnenertrag deutlich höher als mit den anderen beiden Sorten. Signifikante Unterschiede haben sich nicht gezeigt. Dies könnte auf eine stärkere Unterdrückung durch die Sojabohne im Vergleich zur Ackerbohne hindeuten. Laut Sorteneigenschaften (BSA) hat Sahara etwas höhere Kornerträge als Achillea. Im Versuch wurde Gegenteiliges beobachtet. ES Comandor hatte sowohl nach BSA als auch nach den Versuchsergebnissen den niedrigsten Kornertrag.

Im Jahr 2025 wurden die Versuche stark reduziert. Es liegen lediglich Ergebnisse aus dem Sortenversuch vor. Der Leindotterertrag schwankte zwischen 10,2 und 12,1 dt/ha, je nach Sojabohnensorte im Gemenge. Der Sojabohnenertrag war aufgrund der schlechten Entwicklung im Gemenge (vgl. 5.5.1) sehr gering, zeigte aber Unterschiede zwischen den Sorten (Abbildung 62). Die Sorte Sahara hatte mit 12,7 dt/ha den höchsten, die Sorte ES Comandor mit 6,2 dt/ha den geringsten Kornertrag im Gemenge. In Reinsaat wurden 27,2 dt/ha geerntet (Sorte ES Comandor). Leindotter erreichte in der ungedüngten Reinsaat 21,4 dt/ha. Die Stickstoffdüngung hatte keine Auswirkungen auf den Ertrag. In gedüngten Parzellen wurden 21,0 dt/ha Leindotter geerntet.

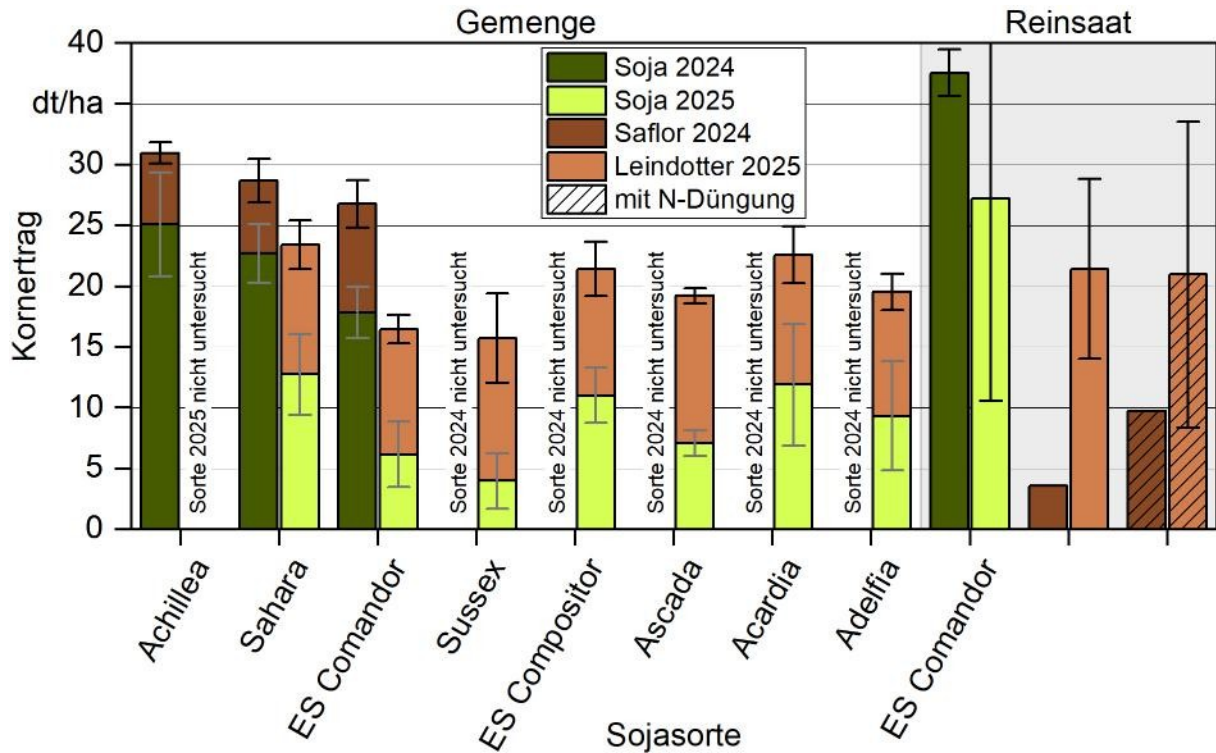


Abbildung 62: Kornertrag der Reinsaaten sowie des gesamten Gemenges und Ertragsanteile von Sojabohne und Saflor (2024) bzw. Leindotter (2025) im Sortenversuch,  $n = 4$

### Saatstärkenversuch

Zwischen der Saatstärke und dem Kornertrag wurde sowohl für Sojabohne als auch Saflor keine signifikante Korrelation festgestellt. Lediglich der Einfluss des Sojabohnenertrags auf den Gesamtertrag ( $r = 0,899$ ) zeigte sich als statistisch signifikant. Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten. Nachfolgend werden lediglich Tendenzen beschrieben.

Der Sojabohnenertrag nahm mit steigender Saatstärke (35, 53, 70 Kö/m<sup>2</sup>) von 18,0 auf 19,3 und 20,6 dt/ha zu (Abbildung 63). Dies spiegelte sich auch in einem zunehmenden Gesamtertrag von 23,7 über 24,3 auf 25,9 dt/ha wider. Der Saflorertrag wurde durch die Varianten nur geringfügig beeinflusst. Überraschend waren die geringen Auswirkungen der Saflor-Saatstärke auf den Anteil am Gesamtgemenge. Ungewöhnlich war zudem, dass bei hoher Sojabohnen-Saatstärke (75 Kö/m<sup>2</sup>) und mittlerer Saflor-Saatstärke (50 Kö/m<sup>2</sup>) ein geringerer Sojabohnenertrag beobachtet wurde als in der Variante mit höchster Saflor-Saatstärke. Die höchsten Sojabohnenerträge waren tendenziell bei niedrigster Saflor-Saatstärke zu beobachten. Sein Ertrag war mit durchschnittlich 5,3 dt/ha gering ausgefallen. Da es zu einem Auswachsen von Saflor auf der Pflanze kam (vgl. 5.1), sind die geringen Erträge überwiegend durch den ungeeigneten gemeinsamen Erntetermin von Sojabohne und Saflor zu begründen. Eine weitere Erklärung wäre die stärkere Unterdrückung von Saflor durch die Sojabohne im Vergleich zur Erbse oder Ackerbohne. Allerdings zeigte sich in den Ergebnissen des Reihenversuchs und auch in der optischen

Beurteilung der Parzellen, das Saflor einen starken Einfluss auf das Wachstum und demnach den Ertrag der Sojabohnen hat.

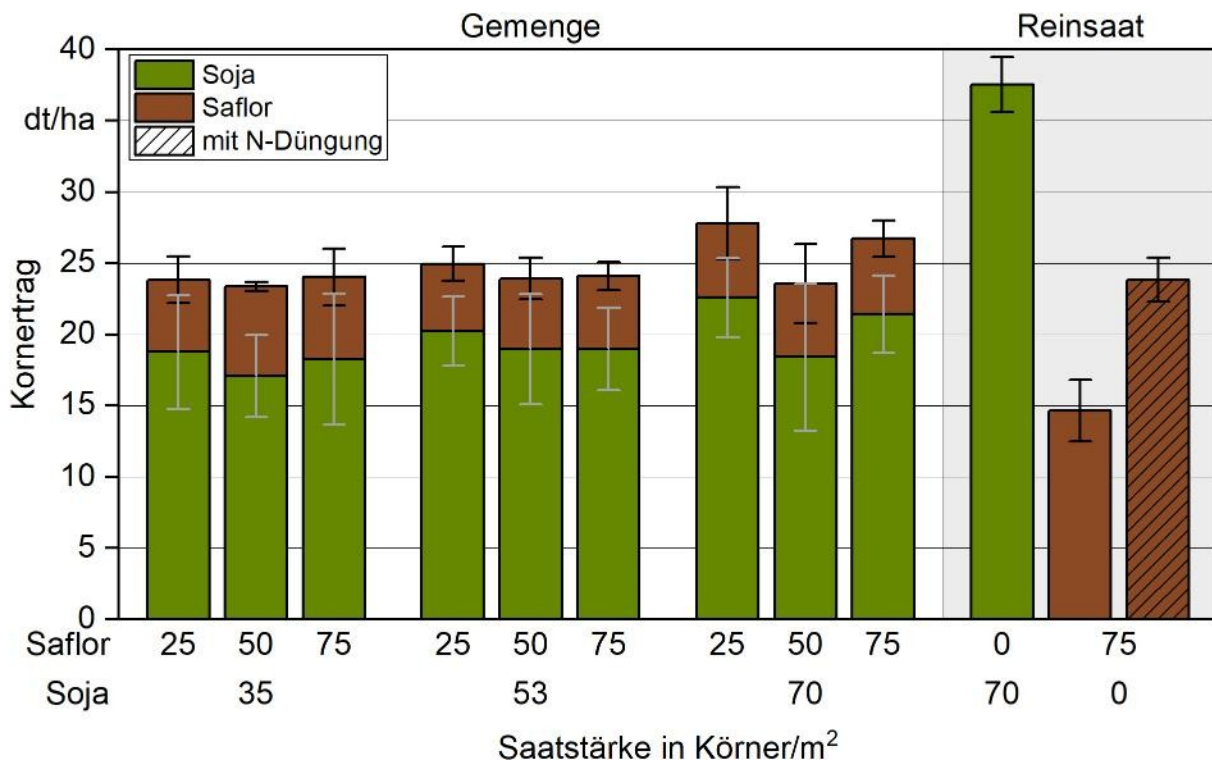


Abbildung 63: Kornertrag der Reinsaaten sowie des gesamten Gemenges und Ertragsanteile von Sojabohne und Saflor im Saattärkenversuch 2024,  $n = 4$

### Reihenversuch

Im Reihenversuch 2024 wurden die Auswirkungen der Partnerwahl für ein Gemenge mit Sojabohne deutlich (Abbildung 64). Der RA hatte dagegen keine Auswirkungen auf Einzel- und Gesamterträge. Daher werden im Folgenden die Durchschnittserträge für beide Reihenabstände genutzt. Auffällig war der geringe Leindotterertrag. Es wurden nur etwa 0,1 dt/ha geerntet. Dieser Versuch wurde zum üblichen Sojabohnen-Saattermin Mitte Mai gesät und die Bedingungen waren für Leindotter ungünstig (vgl. 5.5.1). Dies führte dazu, dass Leindotter vollends von Sojabohnen unterdrückt wurde und keinen Kornertrag generierte. Im Gemenge Sojabohne/Leindotter wurden dadurch sowohl die höchsten Sojabohnenerträge (37,9 dt/ha) als auch die höchsten Gesamterträge (38,1 dt/ha) erreicht. Damit lagen die Erträge im Bereich des Reinsaatertrags (37,5 dt/ha). Die Frage, wie stark der Einfluss gut etablierten Leindotters auf das Sojabohnenwachstum und das Ertragsniveau ist, bleibt offen. Anders als Leindotter waren Saflor und Körnerhanf gut etabliert, wodurch sich die Sojabohnenerträge in diesen Kombinationen im Vergleich zum Gemenge mit Leindotter deutlich reduzierten. Der Sojabohnenertrag war bei Sojabohne/Körnerhanf signifikant niedriger als mit Leindotter und lag bei 31,6 dt/ha. Körnerhanf erreichte trotz seiner guten Entwicklung, insbesondere im Vergleich zum Gemenge mit Erbse und Ackerbohne, nur geringe Erträge von 1,3 dt/ha. Dies lag allerdings nicht an einer Unterdrückung durch die Sojabohne, sondern an Problemen bei der Findung eines gemeinsamen Erntetermins

und den daraus resultierenden Ernteverlusten. Der Sojabohnenertrag in Kombination mit Körnerhanf war hoch. Es ist nicht anzunehmen, dass im Fall eines hypothetischen optimalen Erntetermins, bei dem weniger Hanfkörner ausgefallen wären, der Sojabohnenertrag stark reduziert wäre. In dieser Kombination sind deutlich höhere Gesamterträge denkbar.

Im Gemenge mit Saflor wurden mit 15,6 dt/ha am wenigsten Sojabohnen geerntet. Allerdings war dort der Ölfruchtertrag mit 7,7 dt/ha am höchsten. Die Gesamterträge der Gemenge Sojabohne/Saflor waren mit Abstand am niedrigsten. Saflor wurde bereits durch die Versuche mit Erbse und Ackerbohne als konkurrenzstärkste Ölfrucht identifiziert. In Kombination mit Sojabohne zeigte sich das im Reihenversuch, trotz Verlusten durch den Auswuchs, ebenfalls. Allerdings war der Sojabohnenertrag in dieser Kombination deutlich niedriger als mit anderen Ölfrüchten. Dies lässt an einer generellen Eignung von Sojabohne für den Mischanbau zweifeln, sobald der Partner eine unterdrückende Wirkung besitzt. Da Saflor ausgewachsen war und sich dadurch sehr wahrscheinlich auch Auswirkungen auf den Ertrag ergaben, könnten bei besseren Bedingungen durchaus mehr Saflor und damit auch höhere Gesamterträge erreicht werden. Die späte Abreife von Sojabohne stellt den Anbau allerdings bezüglich eines gemeinsamen Erntetermins und erhöhter Auswuchsgefahr von Saflor durch schlechte Abtrocknung im Herbst vor Herausforderungen.

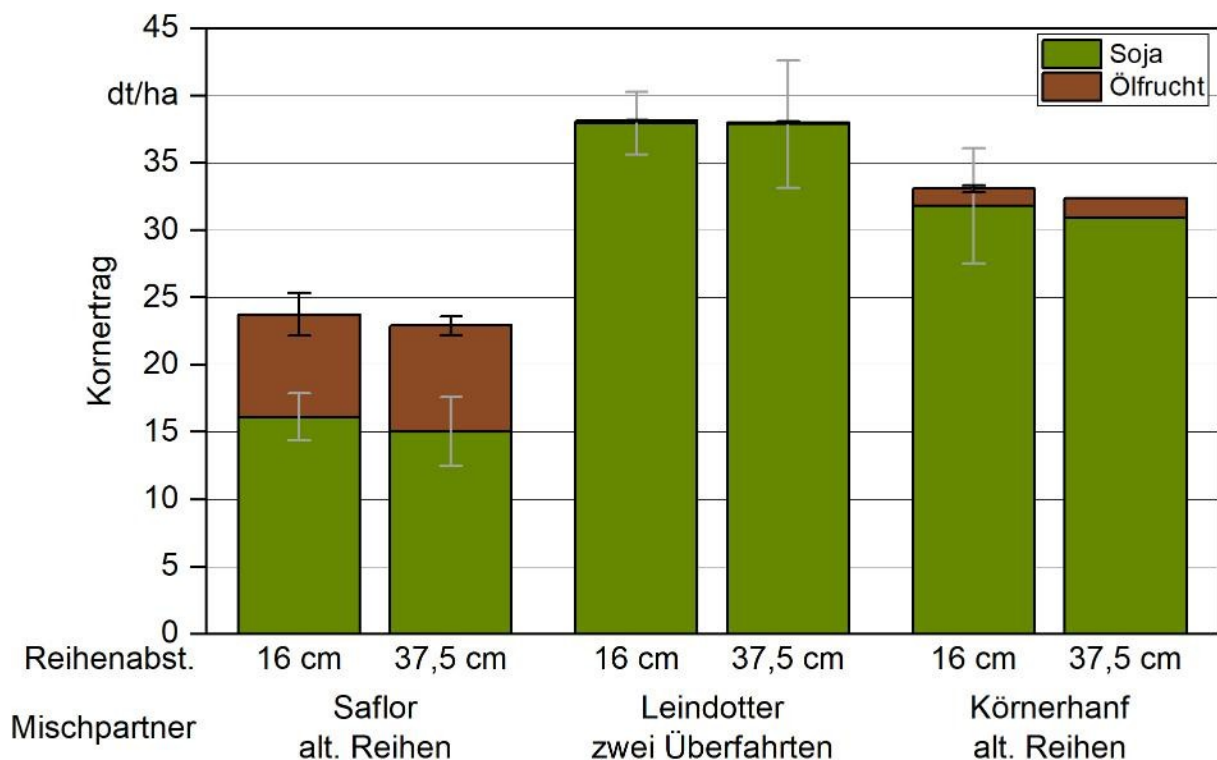


Abbildung 64: Kornertrag des gesamten Gemenges und Einzelkornerträge von Sojabohne und der jeweiligen Ölfrucht in alternierenden (alt.) Reihen oder in zwei Überfahrten für zwei Reihenabstände (RA) im Jahr 2024,  $n = 4$

Unter anderen Bedingungen wurde der Mischanbau von Sojabohne mit Saflor als erfolgreich bewertet [129] [91]. Das wurde in diesem Projekt nicht beobachtet. Je nach Jahr

wurde entweder die Sojabohne durch Saflor oder Leindotter unterdrückt oder die Ölfrüchte durch die Sojabohne. Ein Ausgleich des Ertragsverlusts einer Kultur durch den Mehrertrag des Gemengepartners wurde anders als in [71] und in den Versuchen zu Erbse und Ackerbohne nicht festgestellt.

### **Zusätzliche Versuche**

Bei gleicher Ablagetiefe von Sojabohne und Saflor in gemischten im Vergleich zu alternierenden Reihen waren nur bei einem RA von 16 cm geringere Erträge festzustellen. Eine gemischte Saat mit einem RA von 37,5 cm erzielte die gleichen Erträge wie die alternierenden Varianten. Der Sojabohnenertrag war generell bei weiter Reihe etwas höher als in engerer Reihe. Fiel der Sojabohnenertrag etwas ab, wurde der Ertragsverlust durch Saflor aufgefangen. Dies führte dazu, dass sich die Gesamterträge kaum unterschieden. In diesem Versuch waren die Sojabohnenerträge im Vergleich zu den anderen Versuchen, trotz gleichen Standorts, viel niedriger. Sie lagen zwischen 9,0 und 13,7 dt/ha. Da die Kornerträge der Frischmasse nur geringfügig niedriger lagen als im Reihenversuch, ist von Verlusten durch eine explizit an Sojabohne angepasste Reinigung im Nachgang auszugehen. Im Versuch waren Varianten mit Weißklee als Beisat enthalten. Nach der Ernte von Sojabohne/Saflor war der Klee nur im Stirnrand, wo genug Licht bis zum Boden kam, sichtbar.

#### **5.5.5 Relativer Flächenertrag**

Der Vergleich der RYT-Werte von Erbse und Ackerbohne mit denen der Sojabohne war nicht sinnvoll, da die Ölfrüchte im Gemenge mit Sojabohne 2024 aufgrund der späten Ernte nicht direkt mit den früher geernteten Reinsaaten verglichen werden können. Es kam zu Ertragseinbußen der Ölfrüchte, die in den Reinsaaterträgen nicht abgebildet wurden. Die logische Konsequenz davon war, dass fast alle RYT-Werte unter eins lagen. Lediglich die Werte für RYT–N im Sortenversuch waren größer eins.

Im Jahr 2025 wurden entsprechend mehr Parzellen der Ölfrüchte in Reinsaat angelegt, um alle Erntetermine abzudecken. Da 2025 nur der Sortenversuch geerntet werden konnte, ist lediglich für eine Variante die RYT-Berechnung möglich, denn die Reinsaat spiegelte nur eine Sorte wider. Im Gemenge mit der Sorte ES Comandor wurde ein RYT+N von 0,72 und ein RYT–N von 0,71 bestimmt. In allen auswertbaren Versuchen konnte durch den Mischanbau mit Sojabohne keine Steigerung der Flächeneffizienz erzielt werden.

#### **5.5.6 Kornqualität**

Im Gemenge mit Saflor hatten die Sojabohnen durchschnittlich einen RP-Gehalt von 35,4 %. In Reinsaat lag er mit 34,7 % etwas niedriger (Tabelle 42). Die Sorte Achillea hatte mit 38,5 % einen höheren RP-Gehalt als die anderen Sorten. ES Comandor und Sahara lagen auf ähnlichem Niveau. Die Saatstärken von Sojabohne und Saflor hatten keine Auswirkungen auf den RP-Gehalt. Ebenso zeigten der RA und die Wahl des



Gemengepartners, mit Ausnahme der Variante Sojabohne/Leindotter in weiterer Reihe (RP-Gehalt von 36,1 %), keinen Einfluss auf den RP-Gehalt.

Der Ölgehalt der Sojabohne lag in Reinsaat und im Gemenge mit Saflor bei durchschnittlich 18,9 %. Der RA hatte keine Auswirkungen auf die Höhe des Ölgehalts. Es war eine leichte Tendenz zu höheren Ölgehalten mit Körnerhanf als Gemengepartner erkennbar. Die Sortenunterschiede waren ebenfalls gering. Aufgrund des Auswuchses von Saflor und des Ausfalls von Leindotter wurden die Körner der Gemengepartner nicht untersucht.

*Tabelle 42: Rohprotein- und Ölgehalt von Sojabohne im Gemenge im Vergleich zur Reinsaat im Jahr 2024*

Versuch	Variante	Rohproteingehalt % in TM	Ölgehalt % in TM
Reinsaat		34,7	18,9
Reihenversuch	SJ/LND 16 cm	34,2	18,9
	SJ/LND 37,5 cm	36,1	18,9
	SJ/SFL 16 cm	34,4	19,4
	SJ/SFL 37,5 cm	34,8	18,5
	SJ/HF 16 cm	34,9	19,2
	SJ/HF 37,5 cm	34,8	19,3
Sortenversuch	Achillea	38,5	19,8
	ES Comandor	34,2	18,9
	Sahara	34,0	19,4
Saatstärkenversuch	SJ35/SFL25	35,6	-
	SJ35/SFL50	35,5	-
	SJ35/SFL75	36,8	-
	SJ53/SFL25	36,0	-
	SJ53/SFL50	35,6	-
	SJ53/SFL75	36,3	-
	SJ70/SFL25	34,5	-
	SJ70/SFL50	35,3	-
	SJ70/SFL75	36,3	-

Im Jahr 2025 wurden lediglich im Sortenversuch Kornanalysen durchgeführt (Tabelle 43). Den niedrigsten RP-Gehalt hatten die Sorten Ascada und Acardia mit 34,7 und 34,9 %. Allerdings hatten diese Sorten hohe Ölgehalte mit 19,7 und 19,1 %. Die Sorte Sussex hatte mit 38,0 % den höchsten RP-Gehalt und mit 17,9 % den niedrigsten Ölgehalt aller Sorten. Hier zeigte sich eine negative Korrelation zwischen RP-Gehalt und Ölgehalt beim

Vergleich der verschiedenen Sorten. In Reinsaat der Sorte ES Comandor wurden ein RP-Gehalt von 34,8 % und ein Ölgehalt von 17,9 % festgestellt.

Der Ölgehalt von Leindotter im Gemenge wurde für zwei Sorten bestimmt. Er lag mit ES Comandor bei 36,7 % und mit Sussex bei 36,6 %.

*Tabelle 43: Rohproteingehalt und Ölgehalt von Sojabohne im Sortenversuch Sojabohne/Leindotter 2025*

Sojabohnen-Sorte	Rohproteingehalt in %	Ölgehalt in %
ES Comandor	35,0	18,7
Sussex	38,0	17,9
ES Compositor	35,5	19,2
Ascada	34,7	19,7
Acardia	34,9	19,1
Adelfia	35,3	18,3
Sahara	37,4	18,0

## 5.6 Gehalt an freien Fettsäuren in Körnern der Ölfrüchte

Je höher der Anteil an freien Fettsäuren (FS), desto geringer ist die Oxidationsstabilität und desto minderwertiger ist das Öl. Der Anteil an freien Fettsäuren kann durch die Saatqualität, z. B. Saatreife oder Bruchkorn, beeinflusst werden [151]. In der Reinsaat der Sojabohnen (0,60 %) war er höher als im Gemenge mit Saflor (0,53 %) und Leindotter (0,48 %) (Tabelle 44). Saflor dagegen hatte mit 0,38 % den geringsten Anteil an freien FS in der gedüngten Reinsaat. Die Körner der ungedüngten Reinsaat verzeichneten einen etwas höheren Anteil mit 0,47 %. In Kombination mit Leguminosen wurden die höchsten Anteile für Saflor bestimmt. Zwischen den unterschiedlichen Leguminosen gab es dabei nur geringfügige Unterschiede. Die Anteile freier FS in Leindotteröl zeigten ebenfalls kaum Unterschiede in Bezug auf die Wahl der Leguminose. Auffällig waren allerdings sowohl für Saflor als auch Leindotter leicht abnehmende Anteile, je später geerntet wurde. Der Leindotter der ungedüngten Variante hatte mit 0,47 % ähnliche FS-Anteile wie im Gemenge (0,48 bis 0,51 %). In den gedüngten Varianten wurden Unterschiede zwischen den Ernteterminen ersichtlich. Bei der Ernte mit Ackerbohnen hatte das Leindotteröl einen Anteil an freien FS von 0,35 %. Bei früher Ernte mit den Erbsen war der Anteil an freien FS höher und lag bei 0,90 %. Dieser Wert war vergleichsweise hoch. Daher wird eine Verfälschung durch einen Messfehler oder durch Beimengen in der Probe vermutet.

2025 war der Anteil an freien FS bei Saflor sehr hoch. Er lag bei 1,1 und 1,2 % in Reinsaat und bei 1,5 % im Gemenge mit Ackerbohne. Dies lässt sich durch die gestörte Kornfüllung (vgl. 5.1) erklären. Leindotter hatte dagegen vergleichsweise niedrige Anteile an freien Fettsäuren im Öl. Es waren keine Unterschiede zwischen der ungedüngten Reinsaat

(0,38 %) und den Gemengen mit Erbse (0,37 %) und Ackerbohne (0,38 %) festzustellen. In der gedüngten Variante lag der Anteil mit 0,46 % etwas höher.

**Tabelle 44:** Anteil an freien Fettsäuren in % im Öl der Ölpflanzen im Gemenge (Anbaustandard) im Vergleich zur Reinsaat (n. e. = nicht erfasst)

Kultur	Gemengepartner	Variante	2024	2025
Leindotter	Ohne	Ungedüngt	0,47	0,38
Leindotter	Ohne	Gedüngt, Ernte 1	0,90	0,46
Leindotter	Ohne	Gedüngt, Ernte 2	0,35	-
Leindotter	Erbse	Anbaustandard	0,51	0,37
Leindotter	Ackerbohne	Anbaustandard	0,49	0,38
Leindotter	Sojabohne	Anbaustandard	0,48	-
Saflor	Ohne	Ungedüngt	0,47	1,20
Saflor	Ohne	Gedüngt	0,38	1,10
Saflor	Erbse	Anbaustandard	0,57	n. e.
Saflor	Ackerbohne	Anbaustandard	0,56	1,50
Saflor	Sojabohne	Anbaustandard	0,53	-
Sojabohne	Ohne	Ungedüngt	0,60	-
Sojabohne	Saflor	Anbaustandard	0,53	-
Sojabohne	Leindotter	Anbaustandard	0,48	-

## 5.7 Versuche zum Misanbau von Winterleguminosen und Ölfrüchten

Am 06.09.23 wurde Winterraps gesät. Es folgte am 08.09. eine Herbizidbehandlung nach Tabelle 18. Er lief ungleichmäßig auf und wies teilweise große Lücken innerhalb der Reihen auf. Das ist durch die etwas zu feuchten Bedingungen während der Saat und ein daraus folgend ungleichmäßiges Saatbett zu begründen. Zudem zeigten sich bereits leichte Fraßschäden an den Rapspflanzen, die auf den Rapserdfloh (*Psylliodes chrysocephalus*) zurückzuführen waren. Später wurde zusätzlich Blattlausbefall beobachtet. Am 25.09. war Raps im BBCH-Stadium 10 bis 13 und 10 cm hoch. Der Bestand war wüchsig und kompensierte im weiteren Verlauf die durch die Saat bedingten Lücken zuverlässig. Am 19.10. erfolgte eine Herbizidapplikation (Tabelle 18). Am 23.10. wurde Karate Zeon mit einer Aufwandmenge von 75 ml/ha gegen Erdflöhe und Blattläuse ausgebracht. Raps befand sich am 02.11. im BBCH-Stadium 17 bis 18. Die Ackerbohnen waren im BBCH-Stadium 13 und die Erbsen im Stadium 11 bis 12.

Zu Vegetationsbeginn im Jahr 2024 waren die Ackerbohnen im BBCH-Stadium 13 bis 16 und hatten eine Höhe von 10 cm. Ein Befall mit dem Pilz *Ascochyta fabae*, der zur Brennfleckenkrankheit führt, war erkennbar und wenige Pflanzen waren bereits abgestorben (Abbildung 65). Die Erbsen waren nur 6 cm hoch und befanden sich im Stadium 11 bis 13.

Sie zeigten eine gestauchte Wuchsform, die vermutlich auf Frostschäden zurückzuführen war (Abbildung 66). Die Pflanzen der Erbsen-Reinsaat waren bereits völlig verkümmert. Kurz darauf starb auch der gesamte Erbsen-Bestand im Gemenge ab. Raps war zu diesem Zeitpunkt gut etabliert und befand sich im Stadium 29. Am 19.03. wurde die Schadschwelle für den Gefleckten Kohltriebrüssler (*Ceutorhynchus pallidactylus*) erreicht und die Behandlung mit einem Insektizid geplant. Diese musste aufgrund der unbeständigen Witterung mit vielen Niederschlägen um eine Woche verschoben werden. Am 28.03. fand schließlich die Behandlung mit dem Fungizid Folicur mit 1,5 l/ha in der Rapsreinkultur und dem Insektizid Trebon 30 EC mit 0,2 l/ha in allen Varianten mit Raps statt. Zu diesem Zeitpunkt waren die Erbsen überwiegend abgestorben. Die Ackerbohnen entwickelten sich sehr zögerlich und wurden bereits deutlich von Raps unterdrückt (Abbildung 67). Dies verstärkte sich während der Rapsblüte weiter (Abbildung 68). Der Krankheitsbefall der Winterackerbohnen, die fehlende Winterhärte der Wintererbsen und die hohe Konkurrenzkraft von Raps sind als Hauptgründe für den Misserfolg dieser Gemengekombination zu nennen. Zudem ist der hohe Einsatz an chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln im Rapsanbau, insbesondere Insektiziden, auch im Gemenge nötig und somit wenig mit den Zielen des Gemengeanbaus vereinbar. Daher wurde für die Herbstaussaat 2024 ein neuer Ansatz gewählt (vgl. 4.3.5.4).



Abbildung 65: Frostschäden und Krankheitssymptome der Winterackerbohnenpflanzen im Gemenge mit Winterraps im Frühjahr 2024





*Abbildung 66: Gestauchte Wuchsform der Wintererbsen, vermutlich aufgrund von Frostschäden im Gemenge mit Winterraps im Frühjahr 2024*



*Abbildung 67: Unterschiede im Wuchs von Winterraps und Winterackerbohne (mittig im Bild) im Gemenge Ende März 2024*





Abbildung 68: Verstärkte Beschattung der Winterackerbohnen durch die ausladende Wuchsform von Winterraps zur Blüte Mitte April 2024

Im Herbst 2024 wurden erneut Winterackerbohnen gesät, die bis zum Vegetationsende das BBCH-Stadium 12 erreicht haben. Während der kühlen Phase vor Vegetationsbeginn waren sie gesund und vital. Als es zu Vegetationsbeginn wärmer wurde, entwickelten sich Krankheitssymptome. Zudem waren leichte Frostschäden erkennbar. Bereits vor der Einsaat der Ölfrüchte im Frühjahr 2025 waren kleine braune Flecken und braune Blattränder an den Ackerbohnenblättern erkennbar, die auf den Befall mit *Botrytis* (*Botrytis fabae*) hindeuten (Abbildung 69). Dieses Schadbild verstärkte sich ab Anfang April nicht weiter. Mitte April wurden Proben der ganzen Pflanze (Blätter, Stängel, Wurzel) zur mykologischen Untersuchung an das Institut für Pflanzenschutz, Bereich Mykologie, der Landesanstalt für Landwirtschaft geschickt. Dort wurde ein Befall mit einem Erregerkomplex aus *Fusarium redolens*, *Pythium ultimum* und *Botrytis fabae* festgestellt. Im Laufe der weiteren Entwicklung zeigte sich ab Mitte Mai überraschenderweise eine Abnahme der Symptomatik. Um den 28.04. begann die Blüte der Sorte Arabella. Wenige Tage später folgte der Blühbeginn der Sorte Augusta, die am 12.05. die Vollblüte erreichte. Die Sorte Arabella befand sich in der abgehenden Blüte (BBCH 67). Es zeigte sich ein klarer Vorsprung bezüglich Entwicklung und Wuchshöhe im Vergleich zu den Sommerackerbohnen, die sich im BBCH-Stadium 15–35 befanden. Leindotter und Saflor waren im BBCH-Stadium 16. Die Ölfrüchte konnten mit dem Wachstumsvorsprung der Ackerbohnen nicht mithalten (Abbildung 70). Die meisten Leindotter- und Saflorpflanzen wurden schließlich unterdrückt.





Abbildung 69: Frostschäden sowie Krankheitssymptome an einer Winterackerbohnen-Pflanze im März 2025



Abbildung 70: Wuchsvorsprung der blühenden Winterackerbohne im Gemenge mit Saffor Mitte Mai 2025



Während der Abreife der Ackerbohnen wurde wie bei den Sommerackerbohnen der Befall mit Ackerbohnen-Rost (*Uromyces viciae fabae*) und Botrytis festgestellt. Kurz vor der Ernte waren nur noch geringe Anteile Ölfruchtpflanzen im Gemenge vorhanden, Saflor stand noch in der Blüte (Abbildung 71). Die Ackerbohnen wurden am 29.07. geerntet. Das Erntegut im Gemenge Ackerbohne/Saflor bestand ausschließlich aus Ackerbohnen. Im Gemenge mit Leindotter waren wenige Leindotterkörner vorhanden. Trotz der starken Unterdrückung der Ölfrüchte durch die Ackerbohnen im Gemenge hatte sie im Vergleich zur Reinsaat geringere Kornerträge (Tabelle 45). Der Kornertrag im Gemenge mit Saflor war sowohl bei der Sorte Arabella mit 37,3 dt/ha als auch der Sorte Augusta mit 42,3 dt/ha niedriger als im Gemenge mit Leindotter. Dort wurde ein Kornertrag von 39,8 dt/ha und 45,8 dt/ha erzielt. Saflor hatte, analog zu den Versuchen mit Sommer-Leguminosen, eine höhere Konkurrenzkraft als Leindotter. In Reinsaat wurden 47,8 dt/ha der Sorte Augusta geerntet. Es wurde deutlich, dass trotz geringer Etablierung der Ölfrüchte die Ertragsleistung der Ackerbohnen abnahm. Sie standen mit den Ölfrüchten in Konkurrenz um die nötigen Ressourcen.



Abbildung 71: Abreifende Winterackerbohne Mitte Juli 2025 im Gemenge mit Leindotter (links) und Saflor (rechts)

**Tabelle 45:** *Kornerträge der Winterackerbohnen (WBA) im Gemenge mit Leindotter und Saflor sowie in Reinsaat*

WBA-Sorte	Gemengepartner	Kornertrag in dt/ha
Arabella	Leindotter	39,8
Arabella	Saflor	37,3
Augusta	Leindotter	45,8
Augusta	Saflor	42,3
Augusta	ohne	47,8

Obwohl in keinem Versuchsjahr ein zufriedenstellendes Gemenge mit Winterleguminosen möglich war, lässt sich sagen, dass der Anbau von Winterackerbohnen 2024/2025 erfolgreich verlief und höhere Kornerträge erbrachte als der Anbau der Sommerform. Keine der getesteten Ölfrüchte (Winterraps, Leindotter, Saflor) zeigte sich als geeigneter Gemengepartner. Die Kombination mit Leindotter, im Frühjahr zeitig ausgesät, könnte erfolgsversprechend sein. Voraussetzung wäre eine schnellere Entwicklung, um nicht von der bereits weiter etablierten Ackerbohne unterdrückt zu werden. Möglicherweise könnten sich dafür alternierende Reihen, die die Beschattung des Leindotters reduzieren, eignen. Mangels weiterer Projektlaufzeit konnte dieser Ansatz nicht untersucht werden.

## 5.8 Stickstoffbilanz

Die Bestimmung der Rohproteingehalte im Erntegut ausgewählter Varianten erfolgte auf Basis der Stickstoffgehalte. Zusammen mit den Erträgen können die Stickstoffgehalte für die Berechnung einfacher Stickstoffsalden genutzt werden, die sich in den ungedüngten Varianten aus der Stickstoffabfuhr über das Erntegut zusammensetzen. Da sich die Rohprotein- bzw. Stickstoffgehalte mit Ausnahme von Saflor nur wenig zwischen den Varianten unterschieden, sind die Stickstoffsalden primär vom Ertragsniveau der Gemenge oder Reinsaat abhängig. Die Stickstoffgehalte der Erbsen lagen im Mittel bei 3,34 kg N/dt TM, die der Ackerbohnen bei 4,50 kg N/dt TM und die der Sojabohnen bei 6,24 kg N/dt TM. Bei den Ölfrüchten erreichte Leindotter einen Stickstoffgehalt von 3,89 kg N/dt TM. Der Stickstoffgehalt von Saflor betrug im Durchschnitt 2,00 kg N/dt TM, schwankte jedoch von 1,36 bis 3,89 kg N/dt TM. Bei den Reinsaat der Ölfrüchte war ein positiver Trend der Stickstoffdüngung auf den Rohprotein- bzw. Stickstoffgehalt zu erkennen.

Die Stickstoffsalden beim Gemengeanbau mit Erbse im Jahr 2024 bewegten sich zwischen –103 und –36 kg N/ha, da wie in allen Gemengevarianten des Projekts keine Stickstoffdüngung erfolgte. Im Mittel wurden –67 kg N/ha erreicht. Bei Erbse in Reinsaat waren es –73 bzw. –76 kg N/ha (frühe bzw. späte Saat). Im Jahr 2025 betrugen die Stickstoffsalden im Mischanbau mit Erbse im Durchschnitt –79 kg N/ha bei einem Minimum von –88 und einem Maximum von –45 kg N/ha. Bei Erbse Reinsaat lag der Stickstoffsaldo, aufgrund geringerer Erträge als im Vorjahr bei –60 kg N/ha.

Für die Versuche mit Ackerbohne wurde im Gemengeanbau im Jahr 2024 ein Stickstoffsaldo im Bereich von  $-158$  bis  $-66$  kg N/ha erzielt. Die Spannweite ist in erster Linie auf die erheblichen Ertragsunterschiede der Ackerbohnen zwischen den Versuchen und weniger auf den Beitrag der Ölfrucht zur gesamten Stickstoffabfuhr zurückzuführen. Im Jahr 2025 lag die Stickstoffbilanz zwischen  $-104$  und  $-50$  kg N/ha. Bei Ackerbohne Reinsaat betrug der Stickstoffsaldo  $-112$  kg N/ha im Jahr 2024 und aufgrund höherer Erträge  $-147$  kg N/ha im Jahr 2025. Durch höhere Erträge bei gleichzeitig höheren Stickstoffgehalten in den Körnern erreichten die Ackerbohnen eine höhere Stickstoffabfuhr und somit stärker negative Stickstoffsalden als die Erbsen.

Für die Gemenge mit Soja wurden für das Jahr 2024 aufgrund großer Unterschiede in den Erträgen Stickstoffsalden von  $-223$  bis  $-52$  kg N/ha berechnet. Die Erträge der Ölsaaten waren in diesem Jahr vernachlässigbar (vgl. 5.5.4) und wurden nicht analysiert. Dennoch wurde der Sojaertrag teilweise deutlich durch den Gemengepartner vermindert. Im Jahr 2025 bewegten sich die Stickstoffsalden für den Gemengeanbau mit Soja im Bereich von  $-111$  bis  $-64$  kg N/ha. Durch bessere Entwicklung von Leindotter bzw. Saflor in diesem Jahr waren die Sojaerträge gering und der Anteil der Ölpflanzen an der Stickstoffabfuhr und somit dem Stickstoffsaldo mit ca. 43 % relativ hoch. Generell fällt auf, dass Saflor trotz relativ niedrigen Stickstoffgehalten im Erntegut einen mindestens gleichhohen Anteil an der gesamten Stickstoffabfuhr einnimmt wie Leindotter. Dies ist auf die höhere Konkurrenzkraft von Saflor und dadurch eine stärkere Ertragsreduktion des Gemengepartners zurückzuführen. Bei Soja in Reinsaat lag der Stickstoffsaldo im Jahr 2024 bei  $-213$  kg N/ha und 2025 bei  $-155$  kg N/ha. Insgesamt betrachtet bewegten sich somit die Stickstoffsalden bei den Reinsaaten der Leguminosen im mittleren bis oberen Bereich der Spannweite der jeweiligen Gemenge.

Bei den Reinsaaten der Ölfrüchte wurden die Stickstoffsalden für Varianten sowohl mit als auch ohne Stickstoffdüngung ermittelt. 2024 wurde für Leindotter in Reinsaat mit bzw. ohne Stickstoffdüngung ein Stickstoffsaldo von 43 bzw.  $-14$  kg N/ha erreicht. Für Saflor bewegten sich die Salden mit 32 bzw.  $-19$  kg N/ha auf einem ähnlichen Niveau. In beiden Kulturen wurden in der entsprechenden Variante 74 kg N/ha gedüngt. 2025 betrug das Düngenniveau bei den früh gesäten Ölfrüchten 51 kg N/ha und bei später Saat 101 kg N/ha (nur Leindotter ausgewertet). Früh gesäeter Leindotter wies im Jahr 2025 sowohl mit als auch ohne Stickstoffdüngung eine negative Stickstoffbilanz von  $-9$  bzw.  $-51$  kg N/ha auf. Bei Saflor lag der Stickstoffsaldo bei 22 bzw.  $-28$  kg N/ha und bei spät gesätem Leindotter trotz relativ hoher N-Düngung bei 4 bzw.  $-78$  kg N/ha. Während im Jahr 2024 durch die Stickstoffdüngung die Erträge deutlich gesteigert wurden, war dies 2025 kaum der Fall. Dennoch waren auch bei den gedüngten Ölfrüchten keine überhöhten Stickstoffsalden vorzufinden. Erwartungsgemäß lagen bei den Leguminosen-Reinsaaten bzw. -Gemengen wegen fehlender Stickstoffdüngung stark negative Stickstoffsalden vor. Diese bilden einen Teil des durch symbiontische  $N_2$ -Fixierung den Pflanzen zur Verfügung gestellten Stickstoffs ab. Eine vergleichsweise hohe Stickstoffabfuhr war allerdings nur bei hohen Leguminosen-Erträgen wie bei Sojabohne im Jahr 2024 und Ackerbohne im Jahr 2025 gegeben.

Ein Vergleich der  $N_{\min}$ -Mengen im Boden nach der Ernte und zur Saat kann Aufschluss darüber geben, ob der den Pflanzen zur Verfügung stehende Stickstoff verwertet wurde.



Hohe Reste mineralischen Stickstoffs im Boden nach der Ernte stellen grundsätzlich ein Risiko für einen Nitrateintrag ins Grundwasser dar. In fast allen der in den Versuchsjahren 2024 und 2025 entsprechend beprobten Varianten nahm die  $N_{\min}$ -Menge im Boden von der Saat bis zur Ernte ab. Eine Ausnahme bilden Teile der Reinsaaten 2024, wobei hier vor allem bei den Leguminosen die  $N_{\min}$ -Mengen um bis zu 49 kg N/ha zunahmen. Außerdem war bei den Sojaversuchen und spät gesäten Reinsaaten im Jahr 2025 eine Zunahme von bis zu 34 kg N/ha zu verzeichnen. Bei den gedüngten Reinsaaten waren in beiden Jahren nur bei später Saat die  $N_{\min}$ -Mengen zur Ernte geringfügig höher als zur Saat. Hohe  $N_{\min}$ -Mengen zur Ernte lagen jedoch nur vereinzelt vor, beispielsweise bei später Reinsaat von Erbsen im Jahr 2024 (95 kg N/ha) und einzelnen Gemengevarianten im Jahr 2024.

Im Mittel aller Gemengevarianten mit Erbse in den Jahren 2024 und 2025 betrug die  $N_{\min}$ -Menge im Boden zur Ernte 41 kg N/ha, bei Ackerbohne 36 kg N/ha und bei Sojabohne 37 kg N/ha. Im Vergleich dazu waren bei Erbse in Reinsaat nach der Ernte im Durchschnitt der beiden Jahre noch 56 kg N/ha mineralischer Stickstoff vorhanden. Bei Ackerbohne und Sojabohne in Reinsaat waren es 72 kg N/ha bzw. 40 kg N/ha. Dies deutet darauf hin, dass der Mischanbau zu einer Verbesserung der Stickstoffverwertung beitrug, da bei Leguminosenanbau mit Gemengepartner weniger Reststickstoff im Boden nach der Ernte verblieb. Diese Schlussfolgerung ist jedoch mit einer gewissen Unsicherheit behaftet, da nur in wenigen Varianten  $N_{\min}$ -Proben entnommen wurden und die Reinsaaten in separaten Einzelversuchen getrennt von den einzelnen Gemengeversuchen standen. Darüber hinaus war in den Gemengevarianten keine Erhöhung der Stickstoffabfuhr gegenüber den Reinsaaten gegeben (siehe Beginn des Kapitels), sodass die gesteigerte Stickstoffaufnahme eventuell über die Ernterückstände auf der Fläche verblieb.

## 5.9 Ökologische Bewertung

Die Darstellung der Ergebnisse der ökologischen Bewertung erfolgt für den Anbau der Kulturen Ackerbohne, Erbse, Sojabohne, Leindotter und Saflor im Gemenge- sowie im Reinanbau. Zunächst wurden anhand einer Vorauswertung signifikante Parameter zur Ergebnisdarstellung identifiziert. Diese werden anschließend für die Darstellung und Diskussion der Ergebnisse genutzt. Es folgen die Gegenüberstellung des Mischanbaus und des Anbaus in Reinkultur und der Vergleich bezüglich der Wirkungskategorien „Klimawandel“ und „marine Eutrophierung“. Für eine umfassende Auswertung werden die Ergebnisse bezüglich der drei Merkmale Fläche, Ertrag (Menge) und Qualitäten des Ernteguts, in Form von Rohprotein- und Öl-Ertrag, vorgestellt.

### Identifikation relevanter Parameter für die Wirkungskategorie „Klimawandel“

Abhängig von der angebauten Kultur (Ackerbohne, Erbse, Sojabohne, Leindotter und Saflor) und deren Anbausystem (Mischanbau oder Reinsaat, mit oder ohne Stickstoffdüngung, mechanischer oder chemischer Pflanzenschutz) gibt es Unterschiede bezüglich der Parameter, die Einfluss auf die Treibhausgasemissionen und die marine Eutrophierung haben. Die Auswahl der betrachteten Versuchsvarianten ist unter 4.8.5 beschrieben.

Abbildung 72 zeigt die **flächenbezogenen Treibhausgasemissionen** von Ackerbohne, Sojabohne und Leindotter in Reinsaat sowie von den Gemengen Ackerbohne-Saflor, Erbse-Leindotter und Sojabohne-Saflor. Zu erkennen ist, dass es Unterschiede sowohl in der Höhe der flächenbezogenen Treibhausgasemissionen als auch in der Aufteilung der Emissionsquellen gab. Die Reinsaaten Erbse und Saflor wurden nicht dargestellt, da sich zeigte, dass deren Aufteilung der relevanten Emissionsquellen mit der von Ackerbohne bzw. Leindotter vergleichbar ist.

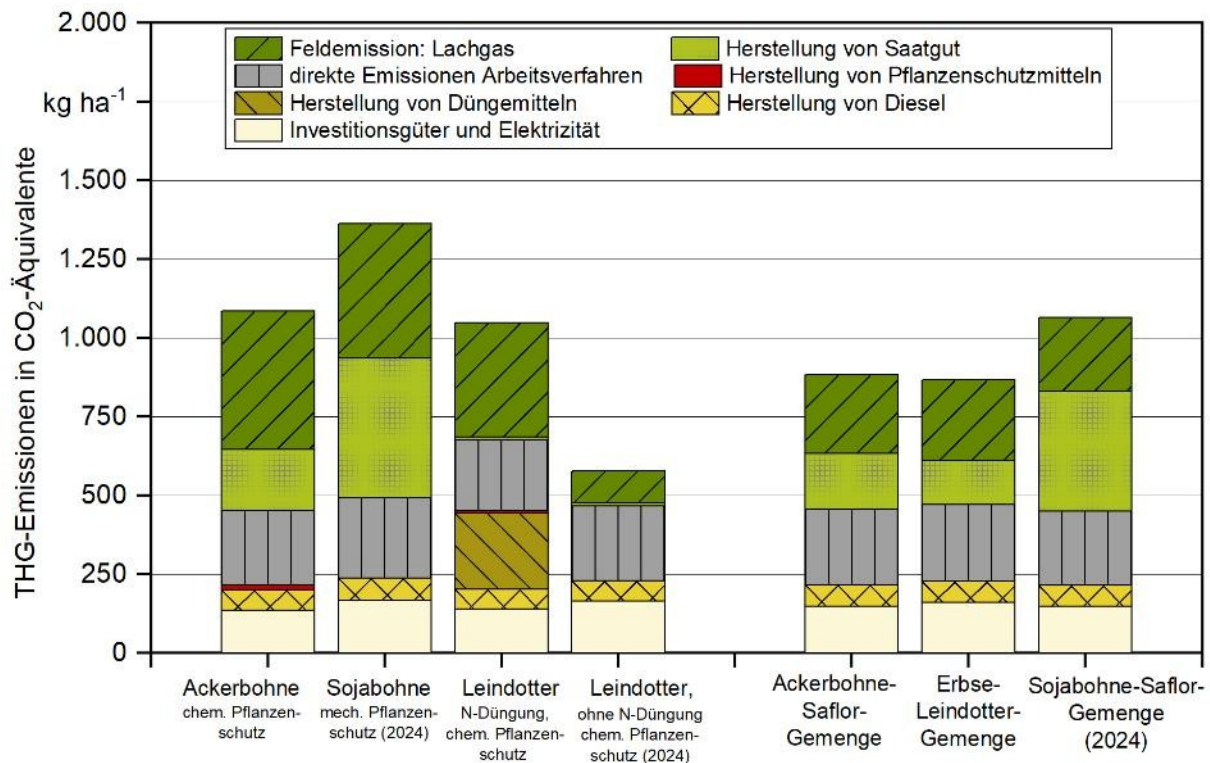


Abbildung 72: Wirkungskategorie „Klimawandel“ ausgewählter Varianten im Anbaujahr 2025 mit Aufteilung in relevante Emissionsquellen (Varianten mit Sojabohne aus dem Jahr 2024)

Beim Anbau der Ackerbohne in Reinkultur waren ca. 41 % der Treibhausgasemissionen auf die Entstehung von Lachgasemissionen zurückführen. Ähnliches galt für den Anbau von Erbse. Bei allen Versuchen mit Ackerbohne und Erbse in Reinkultur schwankte der Anteil der Lachgasemissionen von 30 bis 41 %. Beim Anbau der Sojabohne machten Lachgasemissionen in etwa 31 % der gesamten Treibhausgasemissionen aus. Auch beim Leindotter, der mit Stickstoffdünger gedüngt wurde, machten diese mit ca. 35 % einen großen Anteil der THG-Emissionen aus und waren somit von besonderer Relevanz. In einer ähnlichen Größenordnung war das auch bei gedüngtem Saflor der Fall. Über beide Anbaujahre lag der Anteil der Lachgasemissionen an den Treibhausgasemissionen bei gedüngtem Leindotter und Saflor bei 32 bis 37 %. Lediglich beim ungedüngten Anbau von Leindotter und Saflor in Reinsaat war der Anteil der Lachgasemissionen mit 8 bis 22 % geringer. Bei den Mischanbauvarianten Ackerbohne-Saflor und Erbse-Leindotter lag der Anteil der Lachgasemissionen bei 27 bis 30 %. Beim Sojabohne-Saflor-Gemenge war er

mit 22 % noch etwas niedriger. Hier war allerdings die Produktion von Saatgut als relevanter Parameter mit 36 % bedeutender. Demgegenüber war das Saatgut für die Ackerbohne-Saflor- und Erbse-Leindotter-Gemenge mit 16 bis 20 % weniger bedeutend für die Höhe der Emissionen. Auch bei Ackerbohne und Erbse in Reinsaat lag der Anteil der Saatgutproduktion an den gesamten THG-Emissionen nur bei 16 bis 20 %. Bei der Sojabohne in Reinsaat war der Anteil mit 33 % wieder höher. Eine Ursache hierfür sind die hohen Treibhausgasemissionen, die bei der Herstellung des Saatguts entstehen. So sind die THG-Emissionen für die Bereitstellung eines Kilogramms Saatgut für Sojabohnen, Saflor und Erbsen mit 2,3 bis 2,7 kg CO<sub>2</sub>-Äq/kg ungefähr dreimal so hoch wie die THG-Emissionen für die Bereitstellung von Saatgut für Ackerbohnen und Erbse mit jeweils 0,8 kg CO<sub>2</sub>-Äq/kg [160]. Allerdings werden beim Anbau von Saflor und Leindotter mit 30 bzw. 5 kg/ha deutlich geringere Saatgutmengen benötigt als bei den Leguminosen Ackerbohne, Erbse und Sojabohne mit 160 bis 242 kg. Somit erklärt sich der hohe Anteil des Saatguts an den THG-Emissionen der Sojabohne, da hier sowohl ein hoher THG-Rucksack für die Saatgutproduktion vorliegt, als auch hohe Saatgutmengen eingesetzt werden. Gleichzeitig ist zu berücksichtigen, dass für die Bereitstellung des Saatguts Standarddatensätze verwendet wurden, die nicht die für Deutschland spezifischen Anbau- und Bereitstellungsbedingungen widerspiegeln.

Bei allen gedüngten Kulturen hatte die Produktion von Düngemitteln einen relevanten Anteil von 22 bis 28 %. In der gedüngten Leindotter-Variante betrug der Anteil der Düngherstellung 23 % an den gesamten Treibhausgasemissionen.

Die direkten Emissionen durch die Arbeitsverfahren bewegten sich in einem Bereich zwischen 222 und 256 kg CO<sub>2</sub>-Äq./ha. Auffällig war, dass sie sich über alle Anbausysteme und Kulturen nur geringfügig unterschieden. In Abhängigkeit von der Höhe der unterschiedlichen THG-Gesamtemissionen nahmen sie dadurch mal einen größeren Anteil an den Gesamtemissionen ein, beispielsweise mit 41 % bei ungedüngtem Leindotter, oder einen kleineren Anteil, wie mit 21 % bei gedüngtem Leindotter. Ähnlich verhielt es sich mit den direkt mit den Arbeitsverfahren zusammenhängenden Emissionsquellen „Herstellung von Diesel“ und „Investitionsgüter“. Die durch die Investitionsgüter entstehenden Treibhausgasemissionen schwankten zwischen 134 und 173 kg CO<sub>2</sub>-Äq./ha. Die Unterschiede zwischen den Treibhausgasemissionen durch die Investitionsgüter lagen somit teilweise bei knapp 30 %. Auf die gesamten Treibhausgasemissionen hatten die Unterschiede dieser Emissionsquellen jedoch kaum Einfluss, da die Gesamtemissionen zwischen 511 und 1.434 kg CO<sub>2</sub>-Äq./ha lagen.

Bei den Varianten mit chemischer Pflanzenschutzmaßnahme entstanden durch die Bereitstellung der erforderlichen Pflanzenschutzmittel nur wenige Treibhausgasemissionen (8 bis 15 kg CO<sub>2</sub>-Äq./ha). Deren Anteil an den gesamten THG-Emissionen lag damit lediglich in einem Bereich von 1 bis 2 %. Damit hatte diese Emissionsquelle nur einen sehr geringen Einfluss auf die gesamten THG-Emissionen.

Für den Vergleich des Mischanbaus mit den Reinsaaten ergab sich, dass besonders die Einsparung des Stickstoffdüngers (im Mischanbau) einen sehr großen Einfluss auf die Treibhausgasbilanz hatte. Dies resultierte einerseits aus den vermiedenen Emissionen der

Herstellung des Düngers, andererseits aus den mit der Düngung verbundenen Lachgasemissionen. Aufgrund der verwendeten Berechnungsmethode (vgl. 4.8.3) hat die Menge des ausgebrachten Stickstoffs einen direkten Einfluss auf die Höhe der direkten Lachgasemissionen. Die N-Fixierung bei den Leguminosen bleibt bei diesem Bewertungsansatz jedoch unberücksichtigt. Die Produktion des Saatguts war bei den meisten Kulturen bzw. Varianten zwar ein relevanter Parameter, aber zur Gegenüberstellung von Mischanbau und Reinsaat weniger zielführend, da Standarddatensätze genutzt wurden, die keine Differenzierung ermöglichten.

### Identifikation relevanter Parameter für die Wirkungskategorie „marine Eutrophierung“

Auch hier war es erforderlich, die Bedeutung unterschiedlicher Parameter auszuwerten. Hierzu wurden dieselben Varianten wie bei den Treibhausgasemissionen ausgewählt und Parameter identifiziert. Die Ergebnisse sind in Abbildung 73 dargestellt.

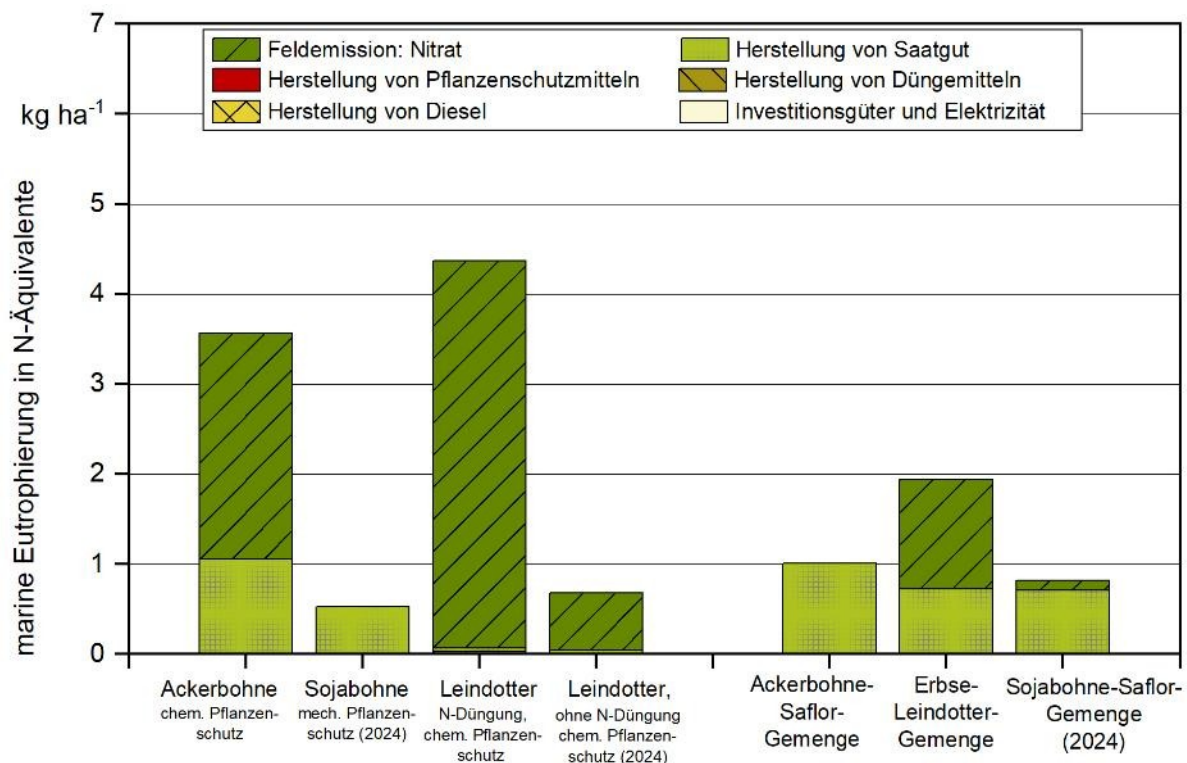


Abbildung 73: Wirkungskategorie „marine Eutrophierung“ ausgewählter Varianten im Anbaujahr 2025 mit Aufteilung in relevante Emissionsquellen (Varianten mit Sojabohne aus dem Jahr 2024)

Am auffälligsten war, dass die marine Eutrophierung bei Ackerbohne und bei der gedüngten Variante von Leindotter mit Werten von 3,6 bzw. 4,4 kg N-Äq/ha am größten war. Bei Ackerbohne dominierte die Stickstoffauswaschung in Form von Nitrat mit 70 % an den Gesamtemissionen. Auch bei den anderen Anbausystemen von Ackerbohne und Erbse war die Nitratauswaschung mit 56 bis 86 % der relevanteste Parameter. Bei der Sojabohne wurde hingegen eine Nitratauswaschung von 0 kg N/ha modelliert. In den

gedüngten Varianten von Leindotter dominierte die Nitratauswaschung die marine Eutrophierung mit Werten von 98 bis 99 % deutlich. Bei den gedüngten Varianten von Saflor war der Anteil der Nitratauswaschung hingegen etwas geringer (63 bis 82 %), aber immer noch eine signifikante Emissionsquelle. Die Relevanz der Düngung wurde auch bei der ungedüngten Saflor-Varianten deutlich, für die sowohl für 2024 als auch für 2025 eine Nitratauswaschung von 0 kg N/ha modelliert wurde. Gleiches gilt für den Mischanbau von Ackerbohne und Saflor, für die in beiden Jahren Emissionen in Höhe von 0 kg N/ha modelliert wurden, sodass keine Nitratauswaschung anzunehmen war. Beim Erbse-Leindotter-Gemenge nahm die Nitratauswaschung 63 bis 66 % der marinen Eutrophierung ein, beim Sojabohne-Saflor-Gemenge waren es lediglich 14 %. Hier wurde nur ein geringer N-Überschuss berechnet, wodurch die Nitratauswaschung entsprechend gering ausfiel.

Zu beachten ist, dass bei der Berechnung der Nitratemissionen nach Vos et al. (2025) [157] für die N-Inputs die Düngung, die N-Gehalte in oberirdischen und unterirdischen Pflanzenteilen sowie der  $N_{\min}$  des Bodens zum Erntezeitpunkt berücksichtigt wurden. Die Bindung von Stickstoff durch Knöllchenbakterien der Leguminosen wurde nicht einbezogen bzw. wurde lediglich indirekt über die Stickstoffgehalte der Wurzeln berücksichtigt. Methodisch kann dies als eine nicht definierte Schwachstelle angesehen werden, die in künftigen Vorhaben detaillierter betrachtet werden könnte. Zudem unterschieden sich die Zeitpunkte der  $N_{\min}$ -Probennahme nach Ernte, da Sojabohnen zu einem späteren Zeitpunkt als Erbsen oder Ackerbohnen geerntet wurden. Dadurch war bereits mehr Stickstoff umgesetzt bzw. ausgewaschen und die  $N_{\min}$ -Werte entsprechend geringer. Für die Berechnung der Nitratauswaschung bedeutet dies, dass ein geringerer N-Input und damit gegebenenfalls eine Nitratauswaschung von 0 kg N/ha für Sojabohnen modelliert wurden.

Ein weiterer relevanter Parameter der marinen Eutrophierung war die Herstellung des Saatguts. Bei den Anbausystemen, bei denen eine Nitratauswaschung von 0 kg N/ha modelliert wurde, lag der Anteil der Saatgutherstellung an der marinen Eutrophierung bei über 97 %. Die restlichen Emissionsquellen – Herstellung von Düngemitteln, Pflanzenschutzmitteln und Diesel – sowie die Investitionsgüter hatten in Summe lediglich Anteile von 0,1 bis 4 %.

Wie bei der Betrachtung der Treibhausgasemissionen zeigte sich auch bei der marinen Eutrophierung, dass die Einsparung des Stickstoffdüngers durch den Mischanbau einen größeren Einfluss auf die marine Eutrophierung hatte. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der Einsatz von Stickstoffdüngern zu einem deutlich höheren Nitrat-Eintrag und damit zu einer stärkeren marinen Eutrophierung führte. Saatgut trug in allen Systemen einen gewissen Anteil zur Eutrophierung bei. Die Menge variierte hierbei aufgrund der verwendeten Saatgutmengen, aber auch durch die bei der Modellierung verwendeten Standarddatensätze für die Saatgutherstellung aus der Ökobilanzdatenbank ecoinvent [160].

### **Wirkungskategorie „Klimawandel“ – ertrags- bzw. mengenbezogene Auswertung**

Die qualitative ökologische Bewertung und Gegenüberstellung des Mischanbaus und des Anbaus in Reinkultur erfolgte zunächst anhand der Wirkungskategorie „Klimawandel“ und damit anhand der THG-Emissionen. Abbildung 74 zeigt die Treibhausgasemissionen (in



kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente) des Nutzenkorbs „Ertrag“ verschiedener Anbausysteme von Ackerbohne und Saflor, Erbse und Leindotter sowie Sojabohne und Saflor für das Jahr 2024 (vgl. 4.8.2). Der Gemengeanbau ist dabei jeweils dem Anbau in Reinsaat gegenübergestellt. Für den Anbau der Ölfrucht ist jeweils eine gedüngte und eine ungedüngte Variante abgebildet.

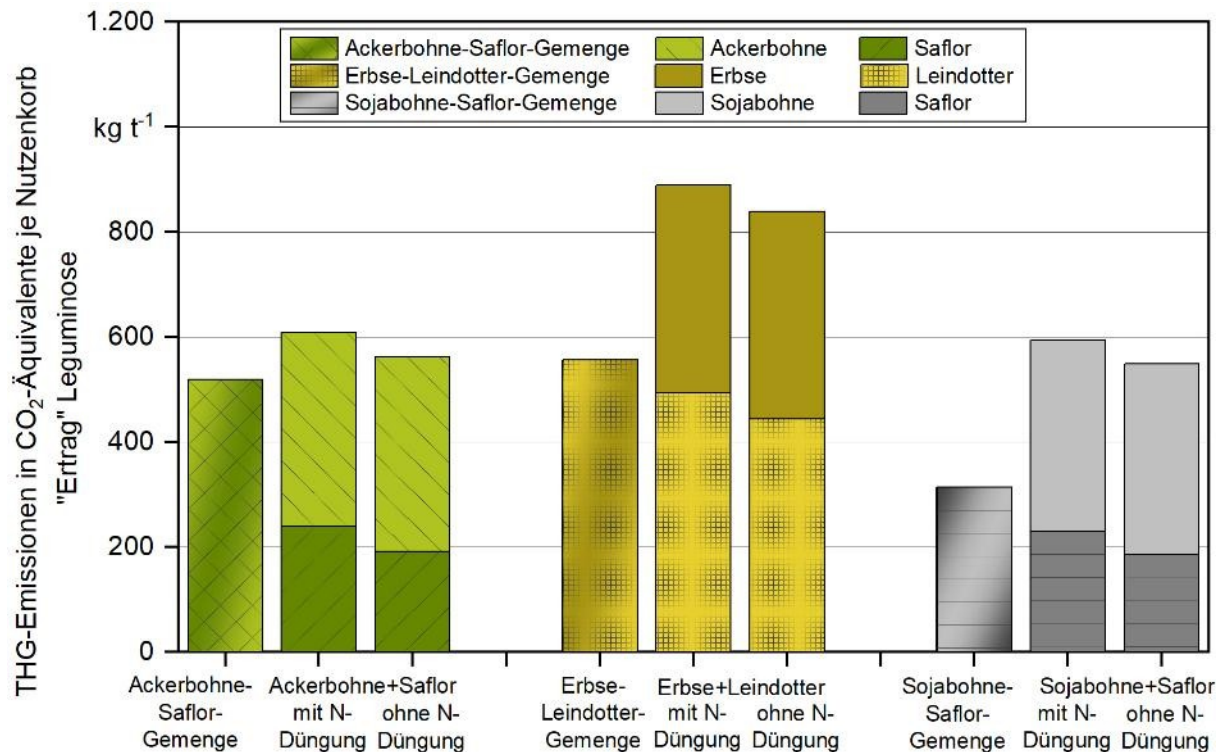


Abbildung 74: Klimawandel der Nutzenkörbe „Ertrag“ im Anbaujahr 2024. Die Nutzenkörbe waren 1 t Ackerbohne (BA) mit 0,436 t Saflor (SFL); 1 t Erbse (EF) mit 0,311 t Leindotter (LND); 1 t Sojabohne (SJ) mit 0,421 t Saflor (SFL)

Es konnte gezeigt werden, dass der Gemengeanbau im Vergleich zu Reinkulturen bei allen betrachteten Varianten zu geringeren Treibhausgasemissionen führte. Dies zeigte sich besonders deutlich beim Vergleich des Gemengeanbaus mit gedüngten Ölfrüchten.

Für den Nutzenkorb „Ertrag“ im Anbau von Ackerbohne und Saflor (1 t Ackerbohne, 0,436 t Saflor) wurden Emissionen in Höhe von 519 kg CO<sub>2</sub>-Äq. berechnet. Für den Reinanbau waren es 609 kg CO<sub>2</sub>-Äq. bei der gedüngten bzw. 562 kg CO<sub>2</sub>-Äq. bei der ungedüngten Variante. Der Großteil der Emissionen des Anbaus der Ackerbohne resultierte aus den modellierten Lachgasemissionen.

Mit dem Nutzenkorb „Ertrag“ für Erbse und Leindotter (1 t Erbse und 0,311 t Leindotter) ergab der Vergleich zwischen Reinkultur und Misanbau deutlich geringere Emissionen beim Misanbau. Während der Misanbau Treibhausgasemissionen von 556 kg CO<sub>2</sub>-Äq. ergab, lagen die Emissionen der Reinkulturen bei 890 kg CO<sub>2</sub>-Äq. (gedüngt) bzw. 839 kg CO<sub>2</sub>-Äq. (ungedüngt). Auffällig war, dass Leindotter im Vergleich zur Erbse hohe THG-Emissionen aufwies, während dieses Verhältnis bei Ackerbohne und Saflor

umgekehrt war. Die Emissionen des Leindotters lagen bei 494 (gedüngt) bzw. 443 kg CO<sub>2</sub>-Äq. (ungedüngt). In der gedüngten Variante lag dies an der Stickstoffdüngung und den damit verbundenen hohen Lachgasemissionen. In der ungedüngten Variante wirkte sich hingegen der um 55 % geringere flächenbezogene Ertrag auf die THG-Emissionen aus. Um den Nutzenkorb mit gleicher Ertragsmenge bereitzustellen, waren eine größere Anbaufläche und die damit verbundenen größeren Aufwendungen erforderlich, was höhere Emissionen zur Folge hatte.

Der Nutzenkorb von Soja und Saflor mit Ertragswerten von 1 t Sojabohne und 0,421 t Saflor ergab, dass deren Anbau im Gemenge mit 314 kg CO<sub>2</sub>-Äq. die geringsten Emissionen erreichte. In Reinkulturen lagen die Werte mit 594 kg CO<sub>2</sub>-Äq. und 549 kg CO<sub>2</sub>-Äq. deutlich höher, aber auf einem vergleichbaren Niveau zu Ackerbohne und Saflor, die einen ähnlichen Nutzenkorb bildeten.

Verallgemeinernd lässt sich für das Jahr 2024 zusammenfassen, dass die ertragsbezogenen Emissionen aller Leguminosen in Reinsaat in einem ähnlichen Bereich lagen und zwischen 363 bis 396 kg CO<sub>2</sub>-Äq. variierten. Demgegenüber zeichnete sich ab, dass Leindotter tendenziell eher höhere Emissionen hatte. Zu beachten ist hierbei der Effekt des Ertragsniveaus: Der Ertrag war im Vergleich zu anderen Ölpflanzen generell niedriger. Um die gleiche Produktmenge bereitzustellen – ein zentraler Aspekt der Nutzenkorb-Methode –, war eine größere Anbaufläche erforderlich. Daraus resultierte eine Zunahme der flächenbezogenen Emissionen. Eine weitere bedeutende Emissionsquelle waren Stickstoffdünger, durch die die Treibhausgasemissionen deutlich anstiegen. Hier bestand jedoch eine gewisse Wechselwirkung zum Ertrag, da deren Anwendung in der Regel zu höheren Erträgen führte, wodurch die ertragsbezogenen Treibhausgasemissionen sinken könnten. Die bisherigen (einjährigen) Ergebnisse für Sojabohne und Saflor weisen darauf hin, dass deren Anbau als Gemenge bezüglich der Treibhausgasemissionen positiv zu bewerten ist. Dies sollte mit weiteren Untersuchungen überprüft werden.

Teilweise konnten diese Ergebnisse auch für das Jahr 2025 festgestellt werden, es gab jedoch auch deutliche Unterschiede, was die Bedeutung mehrjähriger Ergebnisse hervorhebt. Für dieses Jahr konnten lediglich die Kulturen Ackerbohne und Saflor sowie Erbse und Leindotter ausgewertet werden. Die Treibhausgasemissionen des Gemengeanbaus und der Reinsaaten sind in Abbildung 75 dargestellt.

Auffällig war, dass, während 2024 der Gemengeanbau stets mit den geringsten Treibhausgasemissionen pro Nutzenkorb „Ertrag“ verbunden war, der Gemengeanbau von Ackerbohne und Saflor zu geringfügig höheren Emissionen führte als der Anbau von Ackerbohne und Saflor ohne N-Düngung in Reinsaat.

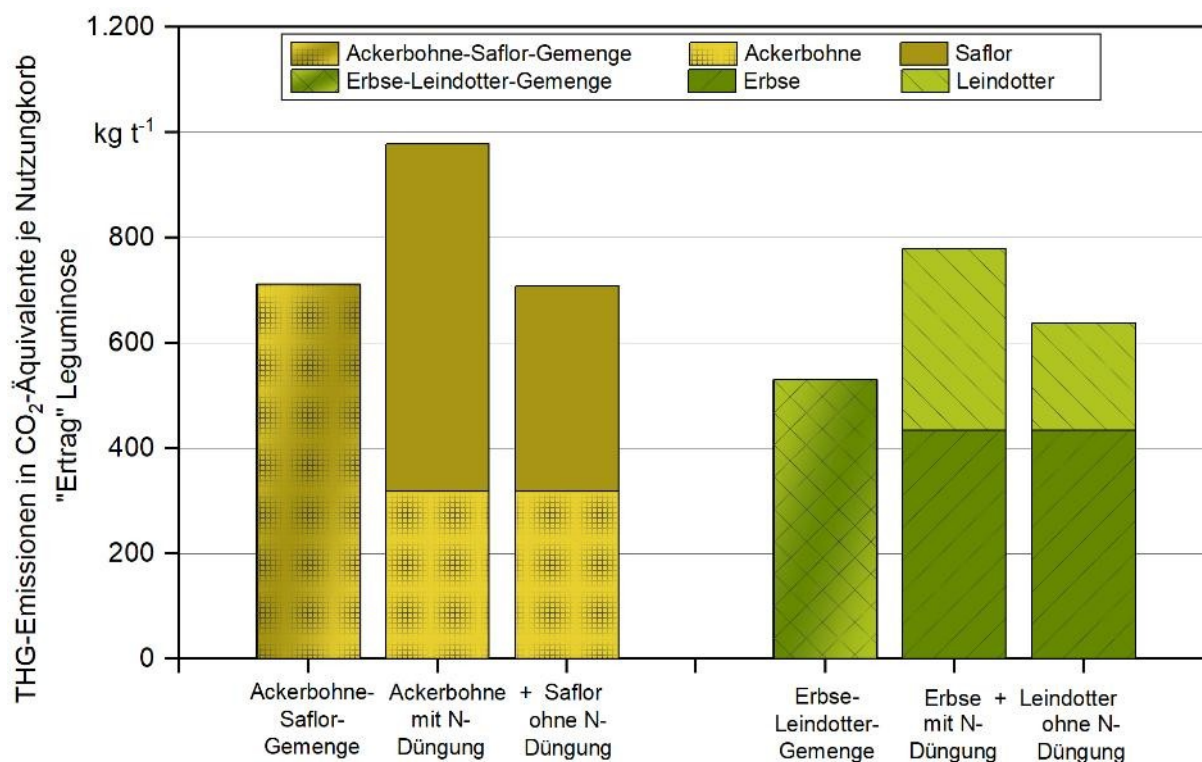


Abbildung 75: Klimawandel der Nutzenkörbe „Ertrag“ im Anbaujahr 2025. Die Nutzenkörbe waren 1 t Ackerbohne (BA) mit 1,172 t Saflor (SFL); 1 t Erbse (EF) mit 0,489 t Leindotter (LND)

Der Nutzenkorb für den Anbau von Ackerbohne und Saflor im Anbaujahr 2025 beinhaltete 1 t Ackerbohne und 1,172 t Saflor. Insbesondere der Ertrag von Saflor war 2025 im Gemenge deutlich höher, was zu diesem geänderten Nutzenkorb führte. Die Treibhausgasemissionen lagen 2025 ebenfalls höher und leicht über denen der Reinsaat von Ackerbohne und ungedüngtem Saflor. Auslöser hierfür war u. a. ein variierendes Ertragsverhältnis: Die Erträge von Saflor im Gemenge waren 2025 fast doppelt so hoch wie 2024. Die Erträge von Saflor in Reinsaat fielen hingegen 2025 deutlich geringer aus als im Anbaujahr 2024. Diese Unterschiede bewirkten die Veränderungen der ertragsbezogenen THG-Emissionen.

Im Jahr 2025 lag der Nutzenkorb beim Erbse-Leindotter-Gemenge mit Werten von 1 t Erbse und 0,489 t Leindotter ebenfalls höher als 2024 (1 t Erbse und 0,311 t Leindotter). Hier zeigte sich aber, dass der Unterschied zu den Varianten in Reinkultur geringer ausfiel als 2024. Dies lässt sich vor allem auf die geringeren THG-Emissionen des Leindotters zurückführen. Die Treibhausgasemissionen des gedüngten Leindotters lagen 2025 bei einem Ertrag von 0,489 t bei 345 kg CO<sub>2</sub>-Äq., während 2024 für 0,311 t gedüngten Leindotter 494 kg CO<sub>2</sub>-Äq. emittiert wurden. Der Unterschied ist auf den höheren Düngemiteleinsatz in 2024 zurückzuführen, der mit höheren Emissionen bei der Düngemittelherstellung und höheren Lachgasemissionen verbunden war. Während die Erbse im Vergleich der Jahre nahezu unverändert war, wurden für den gedüngten Leindotter 2025 geringere ertragsbezogene Emissionen berechnet. Gründe hierfür sind einerseits das gesteigerte

Ertragsniveau (2024 mit 0,799 t zu 1,563 t in 2025) und andererseits der reduzierte Stickstoffdüngemiteleininsatz (2024: 75 kg N/ha vs. 2025: 51 kg N/ha).

Die Ergebnisse zeigen, dass in vielen Fällen der Gemengeanbau ertragsbezogen zu geringeren Treibhausgasemissionen führte als der Anbau in Reinsaat. Dabei war vor allem der Einsatz von Stickstoffdüngemitteln relevant, da diese durch Emissionen der Herstellung und die potenziellen Lachgasemissionen zu insgesamt höheren THG-Emissionen führten. Der Vergleich der Anbaujahre beschreibt auch sehr deutlich die Bedeutung des Ertragsniveaus für den Vergleich zwischen Gemengeanbau und Reinsaat. Aus den Ergebnissen ergibt sich der Hinweis, dass der Gemengeanbau einen gewissen Vorteil bezüglich der Ertragssicherheit bzw. Stabilität (bezogen auf den Nutzenkorb) hatte. Dies lag in den untersuchten Varianten daran, dass eine in Mischanbau bestellte Kultur vergleichsweise höhere Erträge realisieren konnte und sich dadurch Vorteile gegenüber der Reinsaat ergaben.

### **Wirkungskategorie „Klimawandel“ – qualitätsbezogene Auswertung**

Ergänzend zu Fläche und Ertrag sind für die Bewertung der Emissionen auch die produzierten Qualitäten entscheidend. Entsprechende Auswertungen wurden für das Jahr 2025 für den Nutzenkorb „Qualität“ (vgl. 4.8.2) zusammengestellt. Der Nutzenkorb wurde anhand der Merkmale Rohprotein- und Öl-Ertrag definiert.

Die Wirkungskategorie „Klimawandel“ des Nutzenkorbs „Qualität“ war vergleichbar mit der des Nutzenkorbs „Ertrag“ (Abbildung 76). Bezüglich des Rohprotein-Gehalts sowie des Öl-Gehalts gab es kaum Unterschiede zwischen dem Anbau im Gemenge und der Reinsaat. Dies galt sowohl für den Anbau von Ackerbohnen und Saflor als auch für Erbsen und Leindotter (vgl. 5.3.6 und 5.4.6). Die Unterschiede der Treibhausgasemissionen der unterschiedlichen Anbausysteme waren hier, ebenso wie für den Nutzenkorb „Ertrag“, in erster Linie auf Ertragsunterschiede zurückzuführen und werden daher nicht näher ausgeführt.

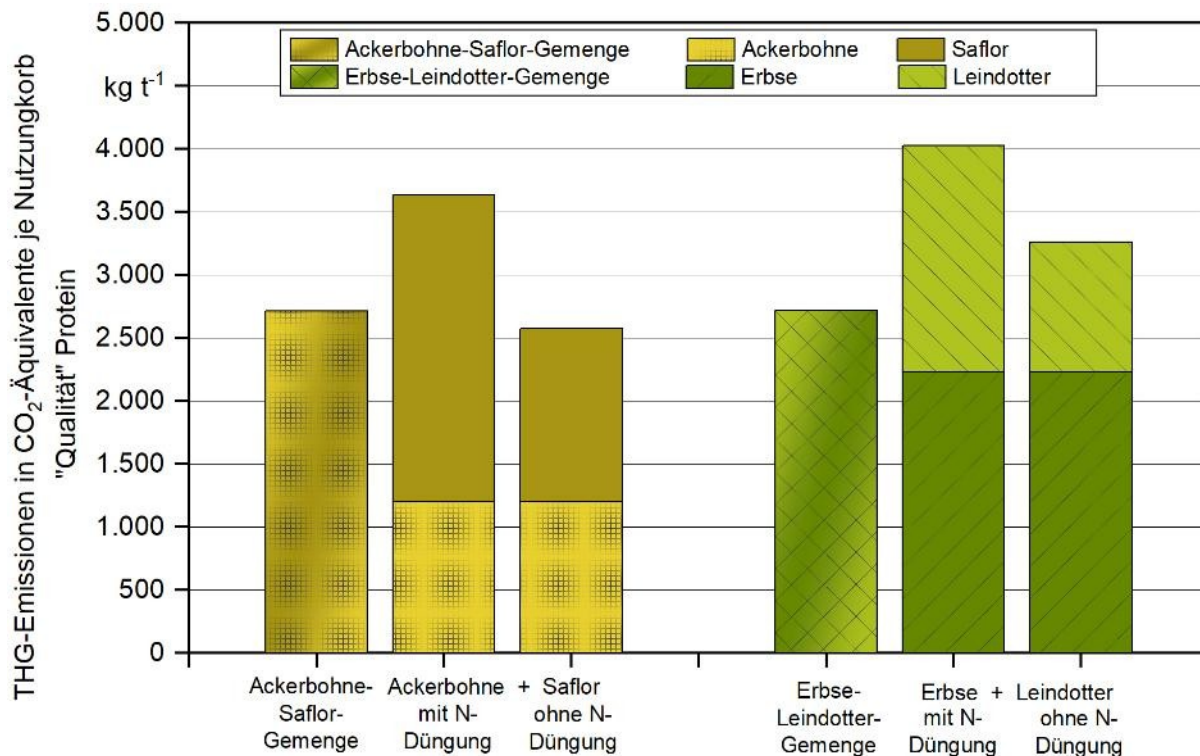


Abbildung 76: Klimawandel der Nutzenkörbe „Qualität“ im Anbaujahr 2025. Die Nutzenkörbe waren bei Ackerbohne (BA) und Saflor (SFL) 1 t Rohprotein und 0,810 t Öl und bei Erbse (EF) und Leindotter (LND) 1 t Rohprotein und 0,917 t Öl

### Wirkungskategorie „marine Eutrophierung“

Die Ergebnisse zur Auswertung der marinen Eutrophierung für 2024 sind in Abbildung 77 dargestellt. Die marine Eutrophierung wird in kg Stickstoff-Äquivalent (kg N-Äq.), bezogen auf einen Hektar, für die verschiedenen landwirtschaftlichen Anbausysteme angegeben.

Generell wiesen die gedüngten Reinkulturen im Vergleich zu ungedüngten Varianten eine höhere marine Eutrophierung auf. Bei Ackerbohne und Saflor waren es bei der gedüngten Variante 1,99 kg N-Äq. gegenüber 1,66 kg N-Äq. ungedüngt. Bei Erbse und Leindotter waren die Unterschiede noch größer: Hier wurden 3,55 kg N-Äq. bei der gedüngten Variante berechnet und 2,30 kg N-Äq. für die ungedüngte.



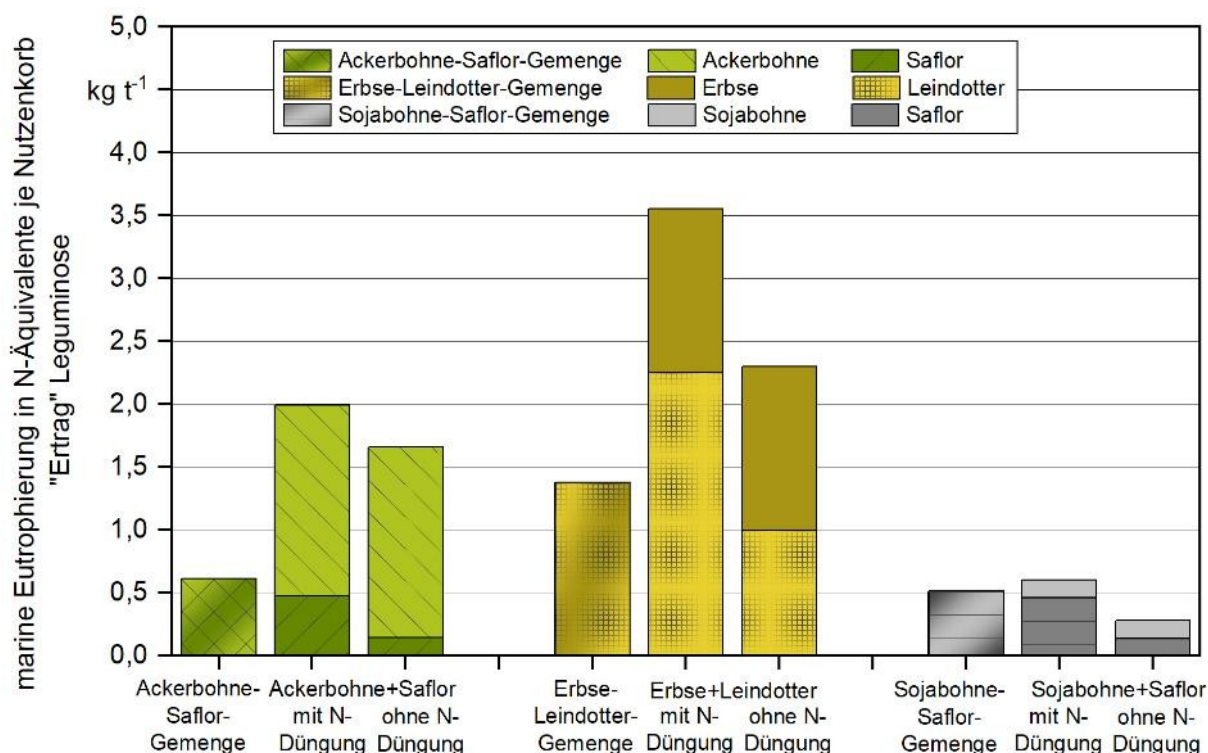


Abbildung 77: Marine Eutrophierung der Nutzenkörbe „Ertrag“ im Anbaujahr 2024. Die Nutzenkörbe waren 1 t Ackerbohne (BA) mit 0,436 t Saflor (SFL); 1 t Erbse (EF) mit 0,311 t Leindotter (LND); 1 t Sojabohne (SJ) mit 0,421 t Saflor

Die Unterschiede in den Emissionen sind darauf zurückzuführen, dass die Stickstoffdüngung zu einem höheren Stickstoffüberschuss führte, der wiederum eine höhere modellierte Stickstoffauswaschung (Nitrat) zur Folge hatte (siehe auch 5.8). Wie beschrieben ist dieser Effekt der wesentliche Parameter bei der Bewertung der marinen Eutrophierung. Die Gemenge von Ackerbohne und Saflor und von Erbse und Leindotter zeigten eine deutlich geringere marine Eutrophierung im Vergleich zu den Reinsaaten. Beim Sojabohne-Saflor-Gemenge lag die marine Eutrophierung bei 0,51 kg N-Äq. (Reinsaaten mit Düngung 0,60 kg N-Äq.). Wurde Saflor nicht gedüngt, waren die Reinsaaten mit 0,28 kg N-Äq. mit einer geringeren marinen Eutrophierung bezüglich des Nutzenkorbs „Ertrag“ verbunden als im Gemengeanbau.

Die einzelnen Kulturen trugen unterschiedlich zur Eutrophierung bei. Wie bei den Treibhausgasemissionen war es beim Anbau von Erbse und Leindotter vor allem der Leindotter, der einen größeren Anteil an den Emissionen ausmachte. Dies war insbesondere auf die geringen Erträge zurückzuführen.

Zusammenfassend lassen sich die Ergebnisse für das Jahr 2024 wie folgt interpretieren: Die Stickstoffdüngung erhöhte die marine Eutrophierung deutlich. Die Gemenge zeigten durchweg eine geringere marine Eutrophierung als die gedüngten Reinkulturen. Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass die Kombination von Kulturen in Mischanbau zur Reduktion von Nährstoffeinträgen in Gewässer und damit zu einer abnehmenden marinen Eutrophierung beitragen kann.

Für das Anbaujahr 2025 (Abbildung 78) waren Unterschiede bezüglich der marinen Eutrophierung zu erkennen. Im Gegensatz zu 2024 fielen die Unterschiede der marinen Eutrophierung zwischen Gemeinde und Reinkultur weniger deutlich aus. Ebenso wie bei der Betrachtung des Klimawandels lag dies an dem geänderten Nutzenkorb für 2025 und den unterschiedlichen Ertragsverhältnissen.

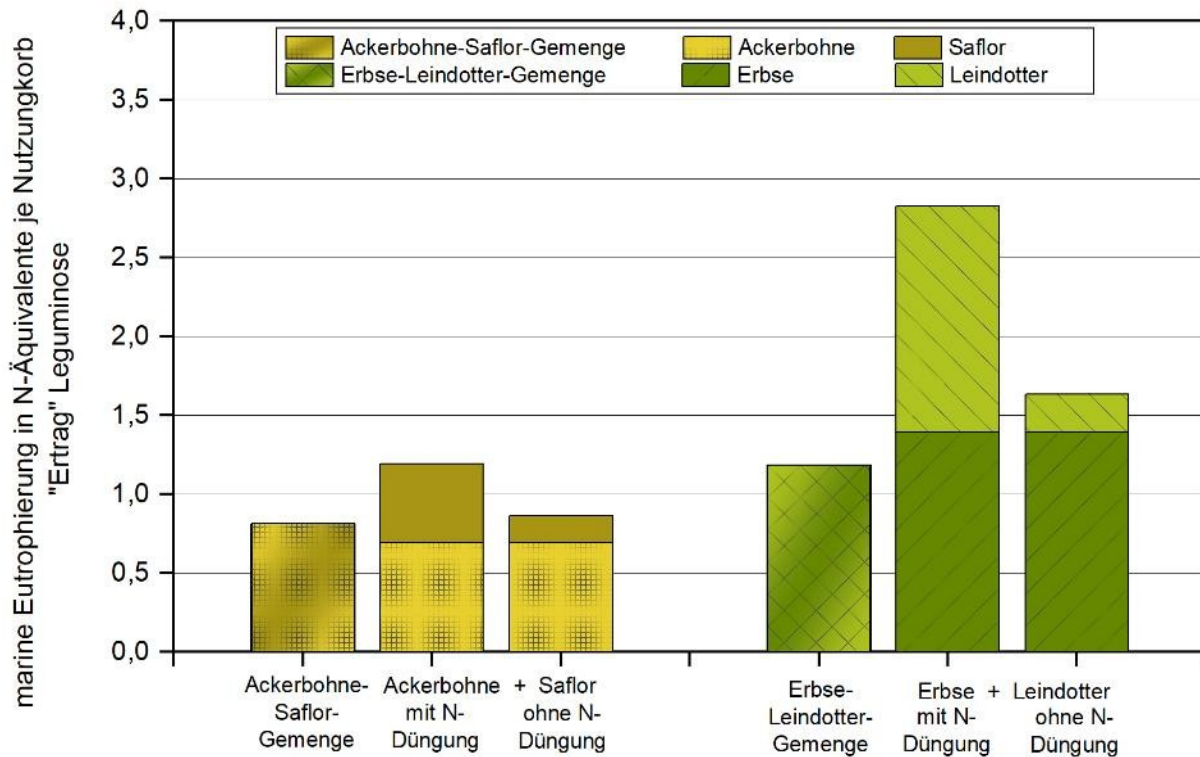


Abbildung 78: Marine Eutrophierung der Nutzenkörbe „Ertrag“ im Anbaujahr 2025. Die Nutzenkörbe waren 1 t Ackerbohne (BA) mit 1,172 t Safflor (SFL); 1 t Erbse (EF) mit 0,489 t Leindotter (LND)

Es ist wichtig zu betonen, dass sich die modellierten Werte für die Nitratauswaschung direkt in der marinen Eutrophierung widerspiegeln. Für den Gemengeanbau fiel die Berechnung der Nitratauswaschung meist niedriger aus, da ohne Stickstoffdüngung einerseits der N-Input geringer war. Andererseits entstand durch den aufsummierten Ertrag von Leguminose und Ölfrucht ein höherer N-Output, wodurch der N-Überschuss ebenfalls geringer wurde. Da auch der  $N_{\min}$  zu den berücksichtigten N-Inputs zählte, hatte dieser ebenfalls einen großen Einfluss auf die berechnete Stickstoffauswaschung. Ein hoher  $N_{\min}$  bei der Ernte ist jedoch nicht direkt auf den Anbau einer bestimmten Kultur, ob in Reinsaat oder im Gemenge, zurückzuführen und damit kein Kriterium für den Vergleich zwischen Reinsaat und Gemenge. Eine weitere Schwachstelle der Berechnung ist, dass der in den Knöllchenbakterien gebundene Stickstoff nur indirekt über die N-Abfuhr und damit über den N-Entzug berücksichtigt werden kann. Für den positiven N-Saldo können lediglich die Stickstoffgehalte der Wurzeln einbezogen werden. Auch vielfältige Faktoren wie Wetter, Klima und Bodengegebenheiten beeinflussen die Nitratauswaschung, sind jedoch in

dieser vereinfachten Modellierung nicht berücksichtigt. Somit kann mit diesen Ergebnissen lediglich eine Tendenz dargestellt werden.

Die Auswertung der marinen Eutrophierung bezüglich des Nutzenkorbs „Qualität“ brachte ebenso wie beim Klimawandel keine zusätzlichen Erkenntnisse (siehe oben) und zeigte vor allem Ertragsunterschiede. Aus diesem Grund wird dies hier nicht weiter ausgeführt.

### **Einordnung der Ergebnisse zur Datenqualität**

Die Verwendung von Standard-Datensätzen ist wichtig, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu ermöglichen. Gleichzeitig führt dies aber auch dazu, dass bestimmte Effekte ggf. höher ausfallen und eine Adaption zu geringeren Emissionen führen könnte. Ein Beispiel hierfür sind die Emissionen, die für die Herstellung von Saatgut angenommen werden und maßgeblich sowohl die Treibhausgasemissionen als auch die marine Eutrophierung beeinflussen. So bezieht sich der genutzte Datensatz des Sojabohnen-Saatguts größtenteils auf die Produktion in Brasilien und damit assoziierte Effekte und Emissionen. Problematisch sind an dieser Stelle die hohen Emissionen, die sich aus der Landnutzungsänderung (z. B. durch Regenwaldrodung) für den vermehrten Sojaanbau in Brasilien ergeben. Die Nutzung eines Datensatzes, der sich auf die Bereitstellung von Sojabohnen-Saatgut aus deutschen Anbausystemen bezieht, könnte somit bereits eine Reduktion der Emissionen bewirken. Für die durchgeführten Anwendungen war jedoch kein validierter Datensatz verfügbar.

Wie weiter oben bereits diskutiert bezieht der Berechnungsansatz für die Nitratauswaschung zwar viele Faktoren des N-Inputs und N-Outputs ein, jedoch wird die Stickstofffixierung durch die Knöllchenbakterien der Leguminosen nicht explizit eingerechnet. Sie spiegelt sich lediglich in den höheren Stickstoffgehalten der Wurzeln der Leguminosen wider. Zwar wird auch der  $N_{\min}$  nach Ernte einbezogen, jedoch ist die Variabilität der gemessenen  $N_{\min}$  sehr hoch. Gleichzeitig ist der  $N_{\min}$  ein Parameter, der vor allem der Vorfrucht zuzuordnen ist, und kein Kriterium zum Vergleich von Reinsaat- und Gemengeanbau. Die berechnete Nitratauswaschung und damit auch die marine Eutrophierung sind lediglich als Abschätzungen zu verstehen.

### **5.10 Austausch der Erfahrungen zum Mischanbau**

Das Projekt wurde auf der Seite des LeguNet unter den aktuellen Forschungsprojekten aufgenommen und im Newsletter beworben. Dies war ein wichtiger Schritt, um das Projekt bekannter zu machen. Das zeigte sich in vermehrten Kontaktanfragen von Landwirten. Am 18.06.2024 fand der „MixNawaRo“-Feldtag in Straubing statt, zu dem Züchter, Landwirte, Forschende und die Öffentlichkeit eingeladen wurden. Es gab eine Führung über die Versuchsflächen, viele Fragen zum Thema Leguminosen und Mischanbau und einige fachlich anregende Diskussionen. Hervorzuheben ist die Teilnahme von Michel Allmrodt, der die Führung mitfilmte und im Anschluss auf seinem YouTube-Kanal veröffentlichte. Dadurch kann der Kreis der erreichten Personen erweitert werden. Aufgrund datenschutzrechtlicher Bestimmungen und möglichen Rückschlüssen auf die Identität privater

Einzelpersonen, mussten Fotos dieser sowie aller weiteren Feldführungen im Bericht entfernt werden.

Im Praxis-Talk des Netzwerks Leitbetriebe Pflanzenbau am 18.09.2024, der über die FiBL-Akademie online stattfand, ging es um das Thema Mischkulturanbau. Die Veranstaltung zeichnete sich aus durch wissenschaftliche und praxisbezogene Vorträge zum Thema Mischanbau, überwiegend zu Kombinationen von Getreide mit Leguminosen oder Ölfrüchten. Im Anschluss gab es eine offene Runde, in der es möglich war, direkt Fragen zu stellen und zu diskutieren. Dabei wurde deutlich, wie wenig Forschung bisher zu der Kombination großkörniger Leguminosen mit Ölfrüchten stattfindet.

Der Leguminosen-Tag der Landwirtschaftskammer NRW am 21.11.2024 war eine weitere wertvolle Veranstaltung, aus der viele hilfreiche Informationen zur Beikrautregulierung, zu Leguminosenmüdigkeit und vielen weiteren Themen sowie Praxisberichte hervorgingen. Ein Austausch mit anderen Teilnehmern war aufgrund der Online-Teilnahme leider kaum möglich.

Ein Highlight war der Nationale Leguminosen-Kongress in Leipzig vom 07.10. bis zum 10.10.2024. Er wurde durch die DAFA organisiert, die zusammen mit der BLE die geplante Erweiterung der Eiweißpflanzenstrategie vorstellte. Der Mischanbau mit Leguminosen war eines der zwölf Hauptthemen, die in eigenen Sessions bearbeitet wurden. Die Veranstaltung schaffte ideale Möglichkeiten sich mit anderen Akteuren im Bereich Leguminosen- und Mischanbau auszutauschen und zu vernetzen. Die zu dem Zeitpunkt bekannten Ergebnisse des Projekts wurden mit einem Poster präsentiert und diskutiert. Von mehreren Experten wurden Hinweise gegeben, welche Aspekte in der zukünftigen Bearbeitung aufgegriffen werden könnten. So wurde unter anderem empfohlen, den Relative Yield Total (RYT) sowohl mit dem ungedüngten als auch gedüngten Ölfrucht-Ertrag zu berechnen. Ein Artikel zu dem Projekt erschien im entsprechenden Tagungsband unter dem Titel „Mischanbau von Leguminosen mit Ölfrüchten“.

Am 04.06.2025 wurden das Projekt und die bisherigen Ergebnisse auf der Sommertagung der Gesellschaft zur Förderung von Pflanzeninnovationen (GFPI) und der Abteilung Öl und Eiweißpflanzen an der Landesanstalt für Landwirtschaft in Freising in Form einer Präsentation mit dem Titel „Mischanbau von Leguminosen mit Ölfrüchten – Eine Strategie zur Risikostreuung?“ vorgestellt.

Pflanzenschutzberater der Ämter für Landwirtschaft und Ernährung sowie Beschäftigte am Institut für Pflanzenschutz besuchten die Feldversuche am 25.06.2025. Während der Feldführung fand ein intensiver Austausch, insbesondere über verschiedene vorhandene Krankheitssymptome und die Schadschwellen, statt.

Am 26.05.25 waren die Pflanzenbau- und Pflanzenschutzberater der Landwirtschaftskammern Nordrhein-Westfalen zu Besuch am TFZ. Sie wurden ebenfalls durch die Feldversuche geführt. Diskutiert wurden unter anderem weitere Möglichkeiten für Gemengekombinationen sowie Schadbilder an den Pflanzen.

## 6 Empfehlungen für die Praxis

Nachfolgend sind die wichtigsten Empfehlungen für die landwirtschaftliche Praxis zum Mischanbau von Leguminosen mit Ölfrüchten aufgelistet. Zusätzlich gibt Tabelle 46 eine Übersicht zu den im Projekt „MixNawaRo“ untersuchten Kombinationen und den wichtigsten Kriterien. Impressionen aus den Feldversuchen werden in Abbildung 79 gezeigt.

### Vorbereitung und Planung

- Frühzeitige und umfassende Planung zu Gemegepartnern, Saattechnik, Erntetechnik, Aufbereitungs-/Reinigungsmöglichkeiten und Vermarktung ist entscheidend.
- Die Wahl der Gemegepartner muss zum Standort passen und eine gemeinsame Etablierung sowie möglichst simultane oder nur kurz versetzte Abreife ermöglichen (empfehlenswert sind z. B. Erbse/Leindotter, Ackerbohne/Saflor).
- Platzfeste Kulturen/Sorten erlauben auch gemeinsames Dreschen bei nicht simultaner Abreife (z. B. Ackerbohne/Leindotter).
- Alle untersuchten Kombinationen mit Sojabohne waren aufgrund hoher Konkurrenz durch den Gemegepartner nicht erfolgreich.

### Beikrautkontrolle

- Da die Herbizidwahl im Gemege eingeschränkt ist, sind vorbeugende Maßnahmen zur Beikrautkontrolle entscheidend.
- Optimale Startbedingungen schaffen, um Lücken im Feldaufgang zu vermeiden.
- Die Möglichkeit zur mechanische Beikrautregulierung durch Aussaat mit weiten Reihenabständen offenhalten.

### Anbau und Pflege

- Mischungen mit Leguminosen sind vergleichsweise pflegeleicht, da keine Stickstoffdüngung und Herbizid-Behandlungen vorgesehen sind.
- Bestände kurz vor der Abreife regelmäßig kontrollieren, um den optimalen Erntetermin nicht zu verpassen.
- Bei Festlegung des Erntetermins den Fokus auf die Kultur mit vermuteter höherer Ertragsleistung legen.

### Ernte

- Kompromisse bei Drescheinstellungen (Tabelle 46) sind notwendig, um Bruchkorn zu minimieren und Verluste zu vermeiden.
- Erhöhten Zeitaufwand für Optimierung der Mähdreschereinstellungen im Feld einplanen.
- Höherer Besatz und damit erhöhter Reinigungsaufwand nach der Ernte sind zu erwarten.
- Eine zeitnahe Reinigung und Trocknung nach der Ernte sind erforderlich.



### Aufbereitung und Vermarktung

- Unterschiedliche Korngrößen erleichtern die Trennung (z. B. Erbse/Leindotter, Ackerbohne/Leindotter), ähnliche Korngrößen (z. B. Erbse/Saflor, Sojabohne/Saflor) erschweren die Trennung und erhöhen den Reinigungsaufwand.
- Bruchkorn erhöht die Schwierigkeiten bei der Trennung und kann die Vermarktung für hochwertige Nutzungszwecke einschränken.
- Qualitätseinbußen und Einschränkungen bei der Vermarktung müssen einkalkuliert werden.

**Tabelle 46:** *Empfohlene Mähdreschereinstellungen bei der Ernte der Reinsaat und Gemenge*

Kultur(en)	Öffnung Dreschkorb mm	Geschwindigkeit Dreschtrommel %	Wind, gering (0) bis hoch (1)	Obersieb mm	Untersieb mm
Ackerbohne	> 25	niedrig 30–50	0,8–1,0	12–20	10–15
Erbse	> 20	niedrig 30–50	0,7–1,0	12–18	10–15
Sojabohne	12–20	niedrig–mittel 40–70	0,5–0,8	10–18	10–15
Leindotter	< 10	mittel–hoch 60–100	0,1–0,5	8–12	4–8
Saflor	12–20	mittel–hoch 60–100	0,5–0,75	10–15	6–10
Erbse/Leindotter	10–20	30–60	0,1–0,5*	12–18	10–15
Ackerbohne/Saflor	12–25**	30–80**	0,5–0,8	12–20	10–15
Ackerbohne/ Leindotter	12–25	30–60	0,1–0,5*	12–20	10–15
Sojabohne/Saflor	12–20**	30–80	0,5–0,8	10–18	10–15

\* Anpassung an individuellen Fokus

\*\* Je nach Ausdruschfestigkeit von Saflor

Tabelle 47: Übersicht der getesteten Gemenge mit den wichtigsten Bewertungskriterien

Gemenge	Gemeinsame Ernte möglich	Flächen-effizienz im Ge-menge	Aufwand für Reinigung und Trennung	Empfehlung für Misanbau
Erbse/Leindot-ter	ja	> Reinsaat	gering	ja
Erbse/Saflor	bedingt, Aus-fallgefahr Erbsen	> Reinsaat	hoch, Gefahr für Erbsen-Bruchkorn	bedingt
Ackerbohne/Leindotter	ja	≥ Reinsaat	mittel, tlw. Gefahr für Ackerbohnen-Bruchkorn	ja
Ackerbohne/Saflor	ja	≥ Reinsaat	mittel, tlw. Gefahr für Ackerbohnen-Bruchkorn	ja
Sojabohne/Leindotter	ja	< Reinsaat*	gering	nein
Sojabohne/Saflor	bedingt, Aus-wuchsgefahr Saflor	< Reinsaat*	mittel	nein

\* Nur vereinzelt Berechnung möglich, geschätzt auf Basis von Entwicklung und Kornerträgen

Streifenanbau, ebenfalls mit extensiven Ölfrüchten, könnte für manche Kulturen, z. B. Sojabohne, besser geeignet sein. Dadurch wären bedarfsgerechte Pflege und Ernte möglich. Positive Aspekte des Misanbaus wie Risikostreuung, verlängerte Blühzeiten und Erweiterung der Kulturpflanzenarten wären im Streifenanbau ebenfalls denkbar.



Abbildung 79: Impressionen aus den Feldversuchen, von links nach rechts und oben nach unten: Hummel auf Saflorblüte, Gemeinde Erbse/Saflor, Biene auf Saflorblüte, Gemeinde Erbse/Leindotter mit Phacelia, Gemeinde Erbse/Leindotter, Biene auf Ackerbohnenblüte, Gemeinde Ackerbohne/Leindotter, Biene auf Leindotterblüte



## Zusammenfassung

Politische Forderungen wie der Green Deal mit Farm-to-Fork-Strategie, nationale Klimaschutzgesetze und die bayerische Biodiversitätsstrategie stellen die Landwirtschaft vor Herausforderungen, insbesondere bei der Senkung des Stickstoffmineraldünger- und Pflanzenschutzmitteleinsatzes. Die Anpassung an den Klimawandel gewinnt zusätzlich an Bedeutung. Die Ackerbaustrategie des BMLEH zeigt Wege auf, wie die Landwirtschaft sich positionieren sollte. Der Misanbau mit Leguminosen kann zur Erhöhung der Kulturpflanzenvielfalt, Erweiterung von Fruchtfolgen, Verringerung von Nährstoffüberschüssen, Reduktion unerwünschter Umweltwirkungen, Stärkung der Biodiversität und Entwicklung klimaangepasster Anbaukonzepte beitragen. Leguminosen gehen eine Symbiose mit stickstofffixierenden Knöllchenbakterien ein, wodurch keine mineralischen Stickstoffdünger benötigt werden. Zudem können sie dazu beitragen, den Bedarf an Pflanzenprotein in Deutschland zu decken und so Importe zu reduzieren, die mit Lebensraumzerstörung und höheren Emissionen verbunden sind. Reinsaat von Leguminosen sind allerdings wegen geringer Ertragsstabilität wenig verbreitet. Misanbau verteilt das Anbaurisiko auf zwei Kulturen und könnte die Anbaufläche erhöhen. Zudem wird im Misanbau meist auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel verzichtet. Erfolgreicher Misanbau erfordert die gezielte Wahl von Kulturpartnern mit komplementärer Ressourcennutzung. Kulturen, die sich in ihrer Toleranz gegenüber Witterungsextremen ergänzen, können Totalausfälle vermeiden. Leguminosen haben während Blüte und Kornfüllung einen erhöhten Wasserbedarf und sind trockenheitsempfindlich, daher sollte der Partner trockenheitstolerant sein und möglichst ohne zusätzlichen Stickstoffdünger und Pflanzenschutzmittel auskommen. Eine simultane Abreife ist wichtig, damit beide Kulturen gemeinsam beerntet werden können.

Im Projekt „MixNawaRo“ wurden über drei Jahre Parzellenversuche mit je vier Wiederholungen durchgeführt, um verschiedene Gemengekombinationen aus Leguminosen (Erbse, Ackerbohne, Sojabohne) und Ölfrüchten (Leindotter, Saflor, Körnerhanf) zu untersuchen. Dabei wurden Saatstärke, Reihenabstand und -anordnung, Saattiefe und Leguminosensorte variiert. Die Versuche wurden jährlich unter Berücksichtigung bisheriger Ergebnisse angepasst und Varianten hinzugefügt bzw. entfernt. Besonderes Augenmerk lag auf gemeinsamer Abreife, Erntefähigkeit, Reinigung und Trennung der Gemengepartner. Korn-erträge der einzelnen Kulturen und Gesamterträge wurden parzellenscharf ermittelt. Zum Vergleich wurden alle Kulturen auch in Reinsaat mit verschiedenen Intensitäten (gedüngt/ungedüngt, mit/ohne Herbizid) angebaut. Das Verhältnis der Einzelerträge im Gemenge zu den Reinsaat-erträgen ermöglichte Aussagen zur Flächeneffizienz. Die Bewertung der Gemenge erfolgte anhand von Entwicklung, Konkurrenz, Pflanzengesundheit, Kornertrag, relativem Flächenertrag (RYT), Kornqualität, technischen Anforderungen bei Saat und Ernte, Aufwand bei Reinigung und Trennung sowie Stickstoffbilanz. Zudem wurde eine ökologische Bewertung im Vergleich zur Reinsaat durchgeführt.

Dem Misanbau werden beikrautunterdrückende Eigenschaften zugeschrieben, insbesondere mit Leindotter durch schnelle Blattrosettenbildung. Im ersten Versuchsjahr wurden enge Reihenabstände gewählt, um diese erwartete Beikrautunterdrückung zu nutzen,

doch bei Trockenheit nach der Saat entwickelten sich Beikräuter schneller als Kulturpflanzen und verdrängten sie. Weder in den Reinsaat noch in den Gemengen wurde die kultureigene Beikrautunterdrückung erfüllt. In den Gemengen standen keine breit wirksamen Herbizide zur Verfügung, mechanische Regulierung war daher entscheidend. In der Folge mussten diese Versuche aufgegeben werden. In den Folgejahren wurden die Reihenabstände vergrößert. Nach Reihenschluss war Hacken nicht mehr möglich und Handhacken war erforderlich, was hohen Zeitaufwand bedeutete. Optimale Startbedingungen vor und nach der Saat sind entscheidend, um eine zügige Kulturentwicklung und Konkurrenzfähigkeit zu fördern. Lücken im Bestand, etwa durch ungleichmäßigen Feldaufgang, begünstigen Beikräuter. Verdichtungen durch Fahrspuren beeinträchtigten besonders Leguminosen und Körnerhanf.

Verschiedene Ansprüche an die optimale Saattiefe der Gemengepartner werden im Gemengeanbau oft als Hindernis betrachtet. Versuche mit gemischter Saat in gleicher Ablagetiefe, alternierender Saat sowie in zwei Überfahrten, um die Kulturen in ihrer jeweiligen idealen Ablagetiefe zu säen, zeigten nur geringe Ertragsunterschiede. Alternierende Saat erfordert ein Mehrtanksystem und erhöht den Zeitaufwand sowie Dieserverbrauch. Die tiefe Saat bei Ackerbohnen ist bei der Verwendung eines Voraufbau-Herbizids notwendig, im Gemengeanbau ohne Behandlung allerdings nicht zwingend. Die gemischte Saat vereinfacht die praktische Durchführung. Dabei müssen aber die Ansprüche der Gemengepartner an den Standraum berücksichtigt werden, besonders bei Saflor, der durch seine ausladende Wuchsform einen höheren Standraumbedarf besitzt. Entmischung im Saatkasten kann durch Beimischen von Sojaschrot reduziert werden.

Extensive Ölfrüchte wurden gewählt, um sie ohne zusätzlichen Stickstoffdünger im Gemenge erfolgreich anzubauen. In Gemengen mit Leindotter und Saflor wurde dies erfüllt. Körnerhanf hingegen zeigte hohen Stickstoffbedarf, wurde von Leguminosen unterdrückt und erwies sich als Partner ungeeignet. Gemengepartner und Saatstärke hatten generell keinen Einfluss auf die phänologische Kulturentwicklung, nur die Leguminosensorte beeinflusste die Abreife und damit den Erntezeitpunkt, insbesondere bei Sojabohne. Die Witterung, besonders Niederschlagsmenge und -verteilung, hatte starken Einfluss auf Entwicklung, Ertrag und Erntefähigkeit. Verschiebungen in den Partnerverhältnissen bestätigten die Anpassungsfähigkeit von Gemengen.

Gemenge mit Erbse zeigten Blattlausbefall, Erbsenwickler und Erbsenkäfer verursachten Fraßschäden und Qualitätsverluste. Gesamterträge im Erbse/Leindotter-Gemenge lagen bei 19,2 dt/ha (2024) und 24,4 dt/ha (2025), mit einem Ertragsanteil der Erbsen von 76 % (2024) und 67 % (2025). Die Reinsaatserträge der Erbse waren 2024 höher als 2025, die der Ölfrüchte verhielten sich umgekehrt. Dies zeigt die starke Anpassung der Gemenge an die Witterungsverhältnisse. Die Saatstärken beider Partner wirkten sich nur geringfügig auf die Erträge aus. Die Wahl des Gemengepartners ist dagegen entscheidend für das Verhältnis der Einzelkulturen. Mit Saflor lag der Anteil an Erbsen bei 34 % (2024) und 31 % (2025), während der Gesamtertrag im Gemenge ungefähr dem des Gemenges Erbsen/Leindotter entsprach. Das Gemenge von Erbse mit Leindotter kann als flächeneffizienter bezeichnet werden als eine Reinsaat beider Kulturen. Bei der Berechnung mit der ungedüngten Leindotter-Reinsaat war der RYT ausnahmslos deutlich über eins. In der



„Standard“-Variante lag er bei durchschnittlich 1,87 (2024) und 1,34 (2025). Bei Berechnung mit den gedüngten Leindotter-Reinsaatserträgen wurde ein RYT von 1,17 (2024) und 1,27 (2025) nachgewiesen. Mit Erbse/Saflor wurde ebenfalls ein  $RYT > 1$  festgestellt, im Vergleich sowohl mit ungedüngter als auch mit gedüngter Saflor-Reinsaat. Die gemeinsame Ernte mit Leindotter war problemlos möglich, mit Saflor schwieriger wegen dessen späterer Reife und des höheren Bruchkornanteils aufgrund zu trockener Erbsen sowie Fraßschäden durch Schädlinge.

Bei den Ackerbohnen trat Befall mit Blattläusen, Blattrandkäfern, Ackerbohnenkäfern sowie Botrytis, Rost und bodenbürtigen Erregern auf. Das Gemenge Ackerbohne/Saflor reagierte stark auf die jeweiligen Witterungsbedingungen. Das zeigte sich in der Wuchshöhe, der Konkurrenzsituation und auch den Kornerträgen. Saflor dominierte das Gemenge bei trockenen Bedingungen und beschattete die Ackerbohnen. Bei zu feuchten Bedingungen hingegen trat die Ackerbohne mehr in den Vordergrund. Der Gesamtertrag des Ackerbohne/Saflor-Gemenges lag bei 24,2 dt/ha (2024) und 26,9 dt/ha (2025), mit einem Ertragsanteil der Ackerbohnen von 70 % (2024) und 46 % (2025). Die Ackerbohnen-sorten Jasmin zeigte 2024 eine höhere Resistenz gegenüber Krankheiten und hatte höhere Erträge, 2025 war sie anfälliger als die anderen Sorten. Die Saatstärke hatte, wie auch bei den Erbse-Gemengen, kaum Einfluss auf die Erträge. Im Gemenge mit Leindotter war der Ertragsanteil der Ackerbohnen mit 92 % (2024) und 79 % (2025) höher und der Gesamtertrag nur minimal niedriger als mit Saflor. Bei der Berechnung des relativen Flächenertrags mit Erträgen der gedüngten Ölfrüchte war im Jahr 2024 nur das Gemenge mit der Ackerbohnen-sorten Jasmin flächeneffizienter als die Reinsaat. Der RYT im „Standard“-Gemenge Ackerbohne/Saflor lag bei 0,93. Wurde der RYT mit Reinsaat-Erträgen der ungedüngten Ölfrucht bestimmt, ergab sich ein Wert von 1,12. Im Jahr 2025 wurden, bis auf das Gemenge mit Sorte Jasmin, nur RYT-Werte über eins ermittelt, für den „Standard“ lag der RYT bei 1,09. Es erfolgte keine Unterscheidung zwischen gedüngt und ungedüngt, da der Saflorertrag in beiden Varianten gleich ausfiel. Eine gemeinsame Ernte von Ackerbohne mit Saflor und Leindotter war möglich, da die Schotenfestigkeit von Leindotter Ausfallverluste minimiert.

Die Sojabohnenbestände waren überwiegend gesund. Im Gemenge mit Leindotter trat bei sehr später Saat vermehrt Falscher Mehltau an Leindotter auf. 2025 waren die Erträge aufgrund schlechten Feldaufgangs und langsamer Entwicklung mit geringeren Wuchshöhen niedrig. Die Sojabohnenerträge lagen in Reinsaat bei 37,6 dt/ha (2024) und 27,4 dt/ha (2025). Im Gemenge mit Leindotter (2024) wurden dagegen nur geringe Sojabohnenerträge erreicht. Sie schwankten je nach Sorte zwischen 4,0 dt/ha (Sussex) und 12,7 dt/ha (Sahara). Leindotter erzielte gute Kornerträge, die Gesamterträge der Gemenge waren trotzdem mit 15,7 dt/ha (Sussex) bis 23,4 dt/ha (Sahara) gering. Mit Saflor (2025) wurde ein Gesamtertrag des Gemenges von 23,3 dt/ha realisiert, dabei wurden 15,6 dt/ha Sojabohnen geerntet. Reihenabstand und Saatstärken hatten kaum Einfluss. Aufgrund von starken Sorten- sowie Flächenunterschieden war es für die Sojaversuche nur für wenige Varianten möglich, einen belastbaren RYT-Wert zu bestimmen. Die Flächeneffizienz war dabei im Gemenge stets schlechter als für die Reinsaat. Eine gemeinsame Ernte war schwieriger als bei Erbse oder Ackerbohne, da Saflor stets früher abreift als Sojabohnen

und bei feuchtem Wetter nicht mehr ausreichend abtrocknet und auskeimt, was Ertrags- und Qualitätsverluste verursacht.

Bei der Ernte von Gemengen muss ein Kompromiss bei den Drescheinstellungen gefunden werden, um Kornverluste und -beschädigungen zu minimieren, was höhere Verunreinigungen als bei Reinsaat zur Folge hat. Saflor benötigt einen engen Abstand von Korb zu Dreschtrommel, was bei Ackerbohnen zu Kornbeschädigungen führt. Fraßschäden durch Käfer und zu geringe Kornfeuchte erhöhen die Bruchgefahr. Erbse mit Leindotter lässt sich problemlos ernten, wobei der Wind gering eingestellt wird, um Leindotterverluste zu vermeiden. Die mechanische Trennung der Gemenge erfolgte durch Siebreiniger mit Windsichtung; bei deutlichen Korngrößenunterschieden wie bei Erbse/Leindotter ist die Trennung schnell und gründlich, bei ähnlichen Kornlängen wie bei Saflor/Erbse anspruchsvoller, erschwert durch hohen Erbsen-Bruchkornanteil. Der gemeinsame Erntetermin ist entscheidend für den Erfolg im Mischanbau und wird vor allem durch Gemengepartner, Sorte und Witterung beeinflusst.

Die ökologische Bewertung zeigt, dass in vielen Fällen der Gemengeanbau ertragsbezogen zu geringeren Treibhausgasemissionen führte als der Anbau in Reinsaat. Dabei war vor allem der Einsatz von Stickstoffdüngemitteln relevant, da diese durch Emissionen der Herstellung und die potenziellen Lachgasemissionen zu insgesamt höheren THG-Emissionen führten. Der Vergleich der Anbaujahre beschreibt auch sehr deutlich die Bedeutung des Ertragsniveaus für den Vergleich zwischen Gemengeanbau und Reinsaat. Die Stickstoffdüngung erhöhte die marine Eutrophierung deutlich. Die Gemenge zeigten durchweg eine geringere marine Eutrophierung als die gedüngten Reinkulturen. Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass die Kombination von Kulturen in Mischanbau zur Reduktion von Nährstoffeinträgen in Gewässer und damit zu einer abnehmenden marinen Eutrophierung beitragen kann. Es ist wichtig zu betonen, dass sich die modellierten Werte für die Nitratauswaschung direkt in der marinen Eutrophierung widerspiegeln. Für den Gemengeanbau fiel die Berechnung der Nitratauswaschung meist niedriger aus, da einerseits ohne Stickstoffdüngung der N-Input geringer war. Andererseits entstand durch den aufsummierten Ertrag von Leguminose und Ölfrucht ein höherer N-Output, wodurch der N-Überschuss ebenfalls geringer war.

Es gibt viele Stellschrauben und Variationsmöglichkeiten im Mischanbau. Ein allgemeingültiges und erfolgreiches Konzept besteht nicht, denn je nach Witterung und Standortbedingungen sind unterschiedliche Methoden zielführend. Mischanbau von Leguminosen mit Ölfrüchten kann das Anbaurisiko von Leguminosen, insbesondere von Erbse und Ackerbohne, reduzieren, da Totalausfälle unwahrscheinlicher sind. Es entstehen jedoch neue Risiken bezüglich Beikrautregulierung, Kornqualität und Vermarktung. Der Anbau erfordert sorgfältige Partnerwahl und Kompromissbereitschaft bei Saat und Ernte. Ertragsverhältnisse der Partner sind witterungsabhängig und schwierig vorhersehbar, Flexibilität beim Erntezeitpunkt ist notwendig. Für Sojabohnen war der Mischanbau mit den im Projekt getesteten Varianten nicht erfolgreich.

## Quellenverzeichnis

- [1] AG FARMS GROUP (2025): Produktkatalog zum Sieve Grain Cleaner BISS. URL: <https://www.ag-farms-group.com/sieve-grain-cleaner-biss-2>
- [2] AGULLA, K. (2021): Pflanzliche Proteine ersetzen erdölbasierte Rohstoffe. Fraunhofer-Gesellschaft (Hrsg.). URL: <https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2021/maerz-2021/pflanzliche-proteine-ersetzen-erdoelbasierte-rohstoffe.html>
- [3] AHMADIZAD, Z., ABBASI, N., HAJINIA, S. (2023): Investigation of some Growth Characteristics and Yield of Safflower in Intercropping With lentils under Weed Management Conditions. Agricultural Science and Sustainable Production, Bd. 33, Nr. 3, S. 17–33
- [4] AHRENS, S. (2023): Statistiken zum Thema Soja und Sojaprodukte. URL: <https://de.statista.com/themen/6916/soja-und-sojaprodukte/>
- [5] AIGNER, A.; SALZEDER, G. (2015): Saattechnik- und Saatstärkeversuche bei Sojabohnen. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). URL: [https://www.sojafoerderring.de/wp-content/uploads/2013/12/Aigner\\_Pos-ter\\_Saatst%C3%A4rke\\_2012\\_2015.pdf](https://www.sojafoerderring.de/wp-content/uploads/2013/12/Aigner_Pos-ter_Saatst%C3%A4rke_2012_2015.pdf), 1 Seite
- [6] ALPMANN, D.; BRAUN, J.; SCHÄFER, B. C. (2013): Analyse einer Befragung unter erfolgreichen Körnerleguminosenanbauern im konventionellen Landbau. DLG-Wintertagung, 16.01.2023: Im Fokus: Heimische Körnerleguminosen vom Anbau bis zur Nutzung. Berlin, 20 Seiten
- [7] ANIMOX GMBH: Produkte. URL: <https://www.animox.de/index.php?menuid=6>
- [8] ANTHERS, J. (2005): Beitrag von Ackerbohne (*Vicia faba* L.), Luzerne (*Medicago sativa* L.) und Saatwicke (*Vicia sativa* L.) zur Selbstregulierung der N-Zufuhr in leguminosenbasierten Fruchtfolgen. Dissertation. Göttingen: Georg-August-Universität Göttingen, 222 Seiten
- [9] ARNCKEN, C.; SCHMACK, J.; SPEIGL, A.-K.; SPORY, K.; WILBOIS, K.-P. (2014): Leguminosen nutzen. Naturverträgliche Anbaumethoden aus der Praxis. Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.), ISBN 978-3-00-046538-0
- [10] AUFHAMMER, W. (1998): Getreide- und andere Körnerfruchtarten. Bedeutung Nutzung und Anbau. 491 Tabellen. UTB für Wissenschaft: Grosse Reihe: Agrarwissenschaften. Stuttgart: Eugen Ulmer, 560 Seiten, ISBN 3825281566
- [11] BABEC, B.; ŠEREMEŠIĆ, S.; HLADNI, N.; CUK, N.; STANISAVLJEVIĆ, D.; RAJKOVIĆ, M. (2021): Potential of Sunflower-Legume Intercropping: A Way Forward in Sustainable Production of Sunflower in Temperate Climatic Conditions. Agronomy, Bd. 11, Artikel Nr. 2381
- [12] BAROT, S.; ALLARD, V.; CANTAREL, A.; ENJALBERT, J.; GAUFFRETEAU, A.; GOLDRINGER, I.; LATA, J.-C.; LE ROUX, X.; NIBOYET, A.; PORCHER, E. (2017): Designing mixtures of varieties for multifunctional agriculture with the help of ecology. A review. Agronomy for Sustainable Development, Bd. 37, Nr. 2
- [13] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL) (Hrsg.) (2011): Ackerbohnen und Erbsen zur Kornnutzung. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hrsg.). Freising-Weihenstephan, 6 Seiten

- [14] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL) (Hrsg.) (2013): Ackerbohne. heimischer Eiweiß- und Stärkelieferant. Freising-Weihenstephan, 16 Seiten
- [15] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL) (Hrsg.) (2013): Erbse. heimischer Eiweiß- und Stärkelieferant. Freising-Weihenstephan, 16 Seiten
- [16] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL) (Hrsg.) (2014): Sojabohne. der Eiweißlieferant. Freising-Weihenstephan, 16 Seiten
- [17] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL) (Hrsg.) (2023): Raps: Sortenempfehlung. URL: <https://www.lfl.bayern.de/ipz/oelfruechte/027585/index.php>
- [18] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL) (Hrsg.) (2025): Agrarmeteorologie Bayern. Frei verfügbare Daten des agrarmeteorologischen Messnetzes der Bayrischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Wetterstation Straubing\_TFZ. URL: <https://www.wetter.rlp.de/Internet/AM/NotesBAM.nsf/0a1c4fe9e45b5fb6c12579c000526e5e/142966a9286c8ed3c1257b9800230a2c?OpenDocument&TableRow=3.10#3>
- [19] BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL): Erbse – Standortansprüche und Sortenwahl. URL: <https://www.lfl.bayern.de/ipz/oelfruechte/066649/index.php>
- [20] BECKER, K.; JOHN, S. (2000): Farbatlas Nutzpflanzen in Mitteleuropa. Gemüseerbse. Stuttgart: Eugen Ulmer, 300 Seiten, ISBN 3-8001-4134-5
- [21] BECKER-DILLINGEN, J. (1927): Handbuch des Getreidebaues einschliesslich Mais, Hirse und Buchweizen. Berlin: Paul Parey, 627 Seiten
- [22] BERTI, M.; SAMARAPPULI, D.; JOHNSON, B. L.; GESCH, R. W. (2017): Integrating winter camelina into maize and soybean cropping systems. Industrial Crops and Products, Bd. 107, S. 595–601
- [23] BIERTÜMPFEL, A. (2021): Anbautelegramm. Saflor (*Carthamus tinctorius* L.). Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum (Hrsg.) Jena, 2 Seiten
- [24] BLESSING, C.; BRITSCH, M. (2021): Kurzinfo 2020: Impfmittelversuch. Wirkung von Bradyrhizobienpräparaten auf Ertrag und Eiweißgehalt von Sojabohnen. Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) (Hrsg.). Karlsruhe, 12 Seiten
- [25] BÖCSA, I.; KARUS, M. (1997): Der Hanfanbau. Botanik, Sorten, Anbau und Ernte. 1. Aufl. Heidelberg: C. F. Müller, 173 Seiten, ISBN 3-7880-7568-6
- [26] BOENISCH, A. (2023): Mischanbau von Körnerleguminosen mit Getreide. Praxisnah, Sonderdruck Ackerbohnen, Körnererbsen und Sojabohnen 2023, S. 20–25
- [27] BÖHM, H.; BOHNE, B.; BRANDHUBER, R.; BRUNS, C.; DEMMEL, M.; FINCKH, M.; FUCHS, J.; GRONLE, A.; HENSEL, O.; LUX, G.; MÖLLER, D.; SCHMIDT, H.; SCHMIDTKE, K.; SPIEGEL, A.-K.; VOGT-KAUTE, W.; WERREN, D.; WILBOIS, K.-P.; WILD, M.; WOLF, D. (2014): Körnerleguminosen und Bodenfruchtbarkeit. Strategien für einen erfolgreichen Anbau. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) (Hrsg.). Bonn, 60 Seiten
- [28] BRINKMANN, J. (1996): Potentiale und Perspektiven des Körnerleguminosenanbaus in Deutschland. Erzeugungspotentiale und Problem. Produktionsgrößen. Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V. Bonn. UFOP-Schriften, Nr. 3, S. 35–75

- [29] BROOKER, R. W.; BENNETT, A. E.; CONG, W.-F.; DANIELL, T. J.; GEORGE, T. S.; HALLETT, P. D.; HAWES, C.; IANNETTA, P. P. M.; JONES, H. G.; KARLEY, A. J.; LI, L.; MCKENZIE, B. M.; PAKEMAN, R. J.; PATERSON, E.; SCHÖB, C.; SHEN, J.; SQUIRE, G.; WATSON, C. A.; ZHANG, C.; ZHANG, F.; ZHANG, J.; WHITE, P. J. (2015): Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *The New phytologist*, Bd. 206, Nr. 1, S. 107–117
- [30] BROUWER, W. (1976): *Handbuch des Speziellen Pflanzenbaues. Die Erbse*. Berlin und Hamburg: Paul Parey, Bd. 2, 834 Seiten, ISBN 3-4896-6010-2
- [31] BUNDESAMT FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTESICHERHEIT (BVL) (2003): Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel – Standardsuche. URL: <https://psm-zulassung.bvl.bund.de/psm/jsp/>
- [32] BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (2022): Blühende Untersaat zwischen Getreide – Innovative Anbauform für eine nachhaltige Landwirtschaft. Bonn, 2 Seiten
- [33] BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (2022): Nutzhanf auf fast 7.000 Hektar angebaut. URL: [https://www.ble.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2022/220926\\_Nutzhanf.html](https://www.ble.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2022/220926_Nutzhanf.html)
- [34] BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (2024): Leguminosen für die menschliche Ernährung: Anbau und Vermarktungsmöglichkeiten. URL: <https://www.praxis-agrar.de/pflanze/ackerbau/kulturpflanzenvielfalt-und-fruchtfolge/konventionelle-anbau-und-vermarktungsmoeglichkeiten-von-leguminosen-fuer-die-menschliche-ernaehrung>
- [35] BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (BLE) (2025): Nutzhanfanbau 2025: Weniger Betriebe bauen weniger an. URL: [https://www.ble.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2025/250929\\_Nutzhanfanbau.html](https://www.ble.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2025/250929_Nutzhanfanbau.html)
- [36] BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (BLE) (2025): Ölsaaten. URL: [https://www.ble.de/DE/BZL/Daten-Berichte/Oele-Fette-Huelsenfruechte/oele-fette\\_node.html#doc624992bodyText7](https://www.ble.de/DE/BZL/Daten-Berichte/Oele-Fette-Huelsenfruechte/oele-fette_node.html#doc624992bodyText7)
- [37] BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, ERNÄHRUNG UND HEIMAT (2025): Eiweißpflanzenstrategie des BMLEH. URL: <https://www.bmleh.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/ackerbau/eiweisspflanzenstrategie.html>
- [38] BUNDESFINANZMINISTERIUM (1996): AfA-Tabelle für den Wirtschaftszweig „Landwirtschaft und Tierzucht“. URL: [https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weitere\\_Steuerthemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/AfA-Tabelle\\_Landwirtschaft-und-Tierzucht.html](https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weitere_Steuerthemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/AfA-Tabelle_Landwirtschaft-und-Tierzucht.html)
- [39] BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (2017): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung – DüV). DüV, in der Fassung vom 26.05.2017. URL: [https://www.gesetze-im-internet.de/d\\_v\\_2017/D%C3%BCV.pdf](https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/D%C3%BCV.pdf)
- [40] BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMEL) (Hrsg.) (2019): *Ackerbaustrategie 2035. Perspektiven für einen produktiven und vielfältigen Pflanzenbau*. Diskussionspapier, Stand: Dezember 2019. Berlin, 68 Seiten



- [41] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT (BMUB) (2016): Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. BMUB-Hausentwurf vom 06.09.2016. Berlin, 69 Seiten
- [42] BUNDESSORTENAMT (BSA) (2000): Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen. Frankfurt am Main: Alfred Strothe, 348 Seiten, ISSN 1431-1089
- [43] BUNDESSORTENAMT (BSA) (Hrsg.) (2023): Beschreibende Sortenliste. Getreide, Mais, Öl- und Faserpflanzen, Leguminosen, Rüben, Zwischenfrüchte. Hannover, 373 Seiten
- [44] BUNDESSORTENAMT (BSA) (Hrsg.) (2025): Beschreibende Sortenliste. Getreide, Mais, Öl- und Faserpflanzen, Leguminosen, Rüben, Zwischenfrüchte. Hannover, 381 Seiten
- [45] BUTZ, A.; PAEBENS, B.; URBATZKA, P. (2019): Optimierung des Anbaus von Sojabohnen - Bestimmung des Vorfruchtwertes und der N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung sowie Reduzierung der Bodenbearbeitung. Schlussbericht FixVorSaat Soja, Freising: Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), 113 Seiten
- [46] DANG, K., GONG, X., THAO, G., WANG, H., IVANISTAU, A., FENG, B. (2020): Intercropping Alters the Soil Intercropping Alters the Soil Microbial Diversity and Community to Facilitate Nitrogen Assimilation: A Potential Mechanism for Increasing Proso Millet Grain Yield. *Frontier in Microbiology*, Bd. 11, Artikel Nr. 601054
- [47] DE WIT, C. T., VAN DEN BERGH, J. P (1965): Competition between herbage plants. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, Bd. 13, Nr. 2, S. 212–221
- [48] DEIGLMAYR, K.; HEIMLER, F.; FRITZ, M. (2011): Wickroggen zur Biogasnutzung. Stand und Perspektiven. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL) (Hrsg.): Biogas in der Landwirtschaft. Stand und Perspektiven. FNR/KTBL-Kongress. Göttingen, 20. bis 21. September. KTBL-Schrift, Nr. 488. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), S. 296–297, ISBN 978-3-941583-56-6
- [49] DEUTSCHE AMPHIBOLIN-WERKE (2023): Spannende Mischung, nachhaltige Effekte. URL: <https://www.daw.de/en/press-information/company-news/individual-view/newsarticle/spannende-mischung-nachhaltige-effekte/>
- [50] DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD) (Hrsg.) (2025): Vieljährige Mittelwerte. Offenbach am Main. URL: [https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/vielj\\_mittelwerte.html](https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/vielj_mittelwerte.html)
- [51] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2021): DIN EN ISO 14040:2021-02: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO\_14040:2006\_+ Amd\_1:2020); Deutsche Fassung EN\_ISO\_14040:2006\_+ A1:2020 (2021). Berlin: DIN Media GmbH
- [52] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2021): DIN EN ISO 14044:2021-02: Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (ISO\_14044:2006\_+ Amd\_1:2017\_+ Amd\_2:2020); Deutsche Fassung EN\_ISO\_14044:2006\_+ A1:2018\_+ A2:2020 (2021). Berlin: DIN Media GmbH

- [53] DEVIREN, H.; AYDIN, H. (2023): Production and physicochemical properties of safflower seed oil extracted using different methods and its conversion to biodiesel. *Fuel*, Bd. 343, Artikel Nr. 128001
- [54] DIEPENBROCK, W.; FISCHBECK, G.; HEYLAND, K. U.; KNAUER, N. (1999): *Spezieller Pflanzenbau*. 3. Aufl. Stuttgart: Eugen Ulmer, 523 Seiten, ISBN 3-8252-0111-2
- [55] DIERAUER, H., CLERC, M., BÖHLER, D., KLAISS, M., MESSMER, M. (2017): Erfolgreicher Anbau von Körnerleguminosen in Mischkultur mit Getreide. *Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL)* (Hrsg.). Frick, 20 Seiten
- [56] DOWLING, A.; O SADRAS, V.; ROBERTS, P.; DOOLETTE, A.; ZHOU, Y.; DENTON, M. D. (2021): Legume-oilseed intercropping in mechanised broadacre agriculture – a review. *Field Crops Research*, Bd. 260, Artikel Nr. 107980
- [57] DOWLING, A.; ROBERTS, P.; DOOLETTE, A.; ZHOU, Y.; DENTON, M. D. (2023): Oilseed-legume intercropping is productive and profitable in low input scenarios. *Agricultural Systems*, Bd. 204, Artikel Nr. 103551
- [58] EICHHOFF, K.; SCHOLCZ, S.; URMANN, C.; FRITZ, M. (2023): Verwertung und Anbauoptimierung von Hanf als Nachwachsender Rohstoff. Kurzfassung TFZ-Bericht 78. Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ) (Hrsg.). Straubing
- [59] EUROPÄISCHE KOMMISSION: Farm to Fork strategy. URL: [https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy\\_en](https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en)
- [60] EXSEMINE GMBH (2023): Saflor Sorte Calin. Saflor als Low-Input-Ölpflanze
- [61] FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (FNR) (1999): Forum „Lacke und Farben aus nachwachsenden Rohstoffen“. Symposium BUGA '99. Magdeburg, 8. Juni. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR). (Gülzower Fachgespräche)
- [62] FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (FNR) (Hrsg.) (2025): Anbau und Verwendung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland. Statistik Stand 2025. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 25 Seiten
- [63] FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (FNR): Entwicklung der Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe. URL: <https://mediathek.fnr.de/entwicklung-der-anbauflaeche-fuer-nachwachsende-rohstoffe.html>
- [64] FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (FNR); UNION ZUR FÖRDERUNG VON OEL- UND PROTEINPFLANZEN E. V. (UFOP); TAT – TRANSFERZENTRUM FÜR ANGEPAßTE TECHNOLOGIEN GMBH (1999): Bioschmierstoffe in der kommunalen Praxis. Fachtagung Lokale Agenda 21. Hamm, 26. Mai. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR). (Gülzower Fachgespräche)
- [65] FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (FNR): Mischfruchtanbau, URL: <https://pflanzen.fnr.de/energiepflanzen/anbausysteme/mischfruchtanbau/>
- [66] FALLAH TOOSI, A.; AZIZI, M. (2015): Study of Safflower Cultivars Yield and Yield Component under different Supplementary Irrigation Conditions. *Agronomy*, Bd. 58, S. 198–200

- [67] FISCHL, M.; SURBÖCK, A.; DIERAUER, H.; GRAUSGRUBER-GRÖGER, S.; MOYSES, A. (2020): Anbau von Körnerleguminosen in Mischkultur im Trockengebiet. Ländliches Fortbildungsinstitut Österreich (Hrsg.). Wien, 44 Seiten
- [68] FLEMMER, A. C., FRANCHINI, M. S., LINDSTRÖM, L. I. (2014): Description of safflower (*Carthamus tinctorius*) phenological growth stages according to the extended BBCH scale. *Annals of Applied Biology*, Bd. 166, S. 331–339
- [69] FRANKE, W. (1997): Nutzpflanzenkunde. Nutzbare Gewächse der gemäßigten Breiten, Subtropen und Tropen. Färberwaid. 6. Aufl. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 509 Seiten, ISBN 3-1353-0406-X
- [70] FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR VERFAHRENSTECHNIK UND VERPACKUNG (IVV): Technofunktionelle Proteine. URL: <https://www.ivv.fraunhofer.de/de/recycling-umwelt/biobasierte-bindemittel/tefuprot.html>
- [71] FROSCHHAMMER, P., SIEGMEIER, T. (2017): Betriebswirtschaftlicher Vergleich des Mischfruchtanbaus von Soja und Leindotter mit dem Reinanbau von Soja. In: 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. 7.–10. März 2017, Freising-Weihenstephan. Pflanzenbau – Soja, S. 82–83
- [72] FRY, J. (2024): Welche Chancen hat der Sojaanbau?. *Top agrar*, Bd. 53, Nr. 7, S. 64–65
- [73] GECAITE, V., ARLAUSKIENE, A., CESEVICIENE, J. (2021): Competition Effects and Productivity in Oat–Forage Competition Effects and Productivity in Oat–Forage Legume Relay Intercropping Systems under Organic Farming Conditions. *Agriculture*, Bd. 11, Artikel Nr. 99
- [74] GEISLER, G. (1991): Farbatlas Landwirtschaftliche Kulturpflanzen. Stuttgart: Ulmer, 204 Seiten, ISBN 3-8001-4079-9
- [75] GHIDOLI, M., PESENTI, M., COLOMBO, F., FRANCESCO NOCITO, F., PILU, R. (2023): *Camelina sativa* (L.) Crantz as a Promising Cover Crop Species with Allelopathic Potential. *Agronomy*, Bd. 13, Artikel Nr. 2187
- [76] GONGORA, B.; MELEGARI DE SOUZA, S. N.; BASSEGIO, D.; SANTOS, R. F.; SIQUEIRA, J. A. C.; BARICCATTI, R. A.; GURGACZ, F.; SECCO, D.; TOKURA, L. K.; SEQUINEL, R. (2022): Comparison of emissions and engine performance of safflower and commercial biodiesels. *Industrial Crops and Products*, Bd. 179, Artikel Nr. 114680
- [77] GÖTTIG, S.; HERZ, A.; WALTER, C. (2023): Der Einfluss von Leindotter (*Camelina sativa* (L.) Crantz, Brassicaceae) auf die Diversität von Bestäubern (Apidae & Syrphidae) im Leindotter-Erben-Mischfruchtanbau. *Journal für Kulturpflanzen*, Bd. 76, S. 80–103
- [78] GREENDELTA (2025): openLCA. URL: [www.openlca.org](http://www.openlca.org)
- [79] GUILIONI, L.; WÉRY, J.; LECOEUR, J. (2003): High temperature and water deficit may reduce seed number in field pea purely by decreasing plant growth rate. *Functional Plant Biology*, Bd. 30, Nr. 11, S. 1151–1164
- [80] GUO, Z.; DONG, Y.; DONG, K.; ZHU, J.; MA, L. (2020): Effects of nitrogen management and intercropping on faba bean chocolate spot disease development. *Crop Protection*, Bd. 127, Artikel Nr. 104972

- [81] HEIMLER, F., HEINTZE, G. (2018): Leindotter – Ausführliche Anbaubeschreibung. Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ). Straubing, 3 Seiten
- [82] HEITEFUSS, R.; KÖNIG, K.; OBST, A.; RESCHKE, M. (Hrsg.) (2000): Pflanzenkrankheiten und Schädlinge im Ackerbau. 4. Aufl. Frankfurt am Main, München: DLG-Verlag, BLV Verlagsgesellschaft, 168 Seiten, ISBN 3-7690-0576-7
- [83] HOFMANN, D. (2024): Ein Soja-Rekordjahr. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt, Bd. 214, Nr. 51/52, S. 39–40
- [84] HOFMANN, D.; WINTERLING, A.; BENDA, J. (2024): Kein gutes Jahr für Erbse und Ackerbohne. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt, Bd. 224, Nr. 7, S. 36–37
- [85] HUIJBREGTS, M. A. J.; STEINMANN, Z. J. N.; ELSHOUT, P. M. F.; STAM, G.; VERONES, F.; VIEIRA, M.; ZIJP, M.; HOLLANDER, A.; VAN ZELM, R. (2017): ReCiPe2016: A harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. The International Journal of Life Cycle Assessment, Bd. 22, Nr. 2, S. 138–147
- [86] HUO, H., WANG, M., BLOYD, C., PUTSCHE, V. (2008): Life-Cycle Assessment of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions Life-Cycle Assessment of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Soybean-Derived Biodiesel and Renewable Fuels. Environmental Science & Technology, Bd. 43, S. 750–756
- [87] I.G. PFLANZENZUCHT GMBH (2025): GL JASMIN. Majestätische Erträge. URL: <https://ig-pflanzenzucht.de/sorte/gl-jasmin/>
- [88] IPCC (2023): Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2391 Seiten
- [89] JAYAKODI, M., GOLICZ, A. A., KREPLAK, J., FECHETE, L. I., ANGRA, D., BEDNÁŘ, P., BORNHOFEN, E., ZHANG, H., BOUSSAGEON, R., KAUR, S., CHEUNG, K., ČÍŽKOVÁ, J., GUNDLACH, H., HALLAB, A., IMBERT, B., KEEBLE-GAGNÈRE, G., KOBLÍŽKOVÁ, A., KOBROVÁ, L., KREJČÍ, P., MOURITZEN, T. W., NEUMANN, P., NADZIEJA, M., KÆRGAARD NIELSEN, L., NOVÁK, P., UGGERHØJ ANDERSEN, S. (2023): The giant diploid faba genome unlocks variation in a global protein crop. Nature, Bd. 615, S. 652–659
- [90] JEROCH, H.; LIPIEC, A.; ABEL, H.; ZENTEK, J.; GRELA, E. R.; BELLOF, G. (Hrsg.) (2016): Körnerleguminosen als Futter- und Nahrungsmittel. Frankfurt am Main: DLG-Verlag, 224 Seiten, ISBN 978-3-7690-0839-5
- [91] JO, S.-G.; KANG, Y.-I.; OM, K.-S.; CHA, Y.-H.; RI, S.-Y. (2022): Growth, photosynthesis and yield of soybean in ridge-furrow intercropping system of soybean and flax. Field Crops Research, Bd. 275, Artikel Nr. 108329
- [92] JULIUS KÜHN-INSTITUT (JKI): Anbaueignung für Sojabohne. URL: <http://geoportal.julius-kuehn.de/#!/map/public/5e1f0476e9208e35a71e24a7>
- [93] KELLER, E. R.; HANUS, H. UND K.-U. HEYLAND (1999): Handbuch des Pflanzenbaues. Bd. 3. Knollen- und Wurzelfrüchte, Körner- und Futterleguminosen
- [94] KIEßLING, D., KÖPKE, U. (2008): Intercropping of oilseeds and faba beans. In: 16th IFOAM Organic World Congress. 16.–20. Juni 2008, Modena, Italy

- [95] KNÖFERL, R.; DIEPOLDER, M.; OFFENBERGER, K.; RASCHBACHER, S.; BRANDL, M.; KAVKA, A.; HIPPICH, L.; SCHMÜCKER, R.; SPERGER, C.; KALMBACH, S. (2022): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland. Gelbes Heft. Stand: 2022. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hrsg.). Freising. (LfL-Information), 114 Seiten
- [96] KÖPKE, U.; NEMECEK, T. (2010): Ecological services of faba bean. *Field Crops Research*, Bd. 115, Nr. 3, S. 217–233
- [97] KRUG, D.; TOBISCH, S. (2010): Einsatz von Proteinen als Bindemittel für Holzwerkstoffe. *European Journal of Wood and Wood Products*, Bd. 68, Nr. 3, S. 289–301
- [98] KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E. V. (2025): KTBL Verfahrensrechner. URL: <https://daten.ktbl.de/vrpflanze/home.action;jsessionid=68CD3A8CB2EB35BF4C945B90B48A7729>
- [99] LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN (2024): Ratgeber. Pflanzenbau und Pflanzenschutz, Ausgabe 2024
- [100] LECLÈRE, M.; JEUFFROY, M.-H.; BUTIER, A.; CHATAIN, C.; LOYCE, C. (2019): Controlling weeds in camelina with innovative herbicide-free crop management routes across various environments. *Industrial Crops and Products*, Bd. 140, Artikel Nr. 111605
- [101] BARTELS, A.; HABERLAH-KORR, V.; SCHÄFER, B. C. (2020): Leitlinie des integrierten Pflanzenschutzes im Rapsanbau. Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V. (UFOP). Soest, 40 Seiten
- [102] LI, C., STOMPH, T.-J., MAKOWSKIC, D., LID, H., ZHANG, C., ZHANG, F., VAN DER WERF, W. (2023): The productive performance of intercropping. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Bd. 120, Nr. 2
- [103] LI, R.; FENG, Y.; ZHANG, S.; ZHANG, H.; WANG, J. (2024): Plant protein fibers obtained by microfluidic spinning technology: An insight into the fabrication, characterization, and digestive characteristics. *Food Bioscience*, Bd. 60, Artikel Nr. 104248
- [104] MAHDI MAJIDI, M.; TAVAKOLI, V.; MIRLOHI, A.; REZA SABZALIAN, M. (2011): Wild safflower species (*Carthamus oxyacanthus* Bieb.): A possible source of drought tolerance for arid environments. *Australian Journal of Crop Science*, Bd. 5, Nr. 8, S. 1055–1063
- [105] MAIDL, F. X.; SUCKERT, J.; FUNK, R.; FISCHBECK, G. (1991): Standorterhebungen zur Stickstoffdynamik nach Anbau von Körnerleguminosen. *Journal of Agronomy and Crop Science*, Bd. 167, Nr. 4, S. 259–268
- [106] MAKOWSKI, N. (2000): Ölf Früchte. In: LÜTKE ENTRUP, N.; OEHMICHEN, J. (2000): *Lehrbuch des Pflanzenbaues. Kulturpflanzen*, Nr. 2. Gelsenkirchen: Verlag Th. Mann, S. 548–550, ISBN 3-7862-0117-X
- [107] MARTINELLI, T.; GALASSO, I. (2011): Phenological growth stages of *Camelina sativa* according to the extended BBCH scale. *Annals of Applied Biology*, Bd. 158, Nr. 1, S. 87–94
- [108] MATTHÄUS, B. (2007): Qualitätsparameter von Ölsaaten aus ökologischen Rein- und Mischfruchtanbausystem. In: PAULSEN, H. M.; SCHOCHOW, M. (Hrsg.): *Anbau von Mischkulturen mit Ölpflanzen zur Verbesserung der Flächenproduktivität im ökologischen Landbau – Nährstoffaufnahme, Unkrautunterdrückung, Schaderregerbefall und Produktqualitäten*: Institut für ökologischen Landbau, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL). Trenthorst, Sonderheft, 309, S. 60–67



- [109] MEIER, U.; BLEIHOLDER, H. (2016): BBCH-Skala. Phänologische Entwicklungsstadien wichtiger landwirtschaftlicher Kulturen, einschließlich Unkräuter. Band 1. Themenbibliothek Pflanzenproduktion. Clenze: Agrimedia Erling Verlag, 58 Seiten, ISBN 978-3-86263-110-0
- [110] MEIßNER, A.; GRANZOW, S.; WEMHEUER, F.; PFEIFFER, B. (2021): The cropping system matters – Contrasting responses of winter faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes to drought stress. *Journal of Plant Physiology*, Bd. 263, Artikel Nr. 153463
- [111] MIELKE, H.; SCHÖBER-BUTIN, B. (2004): Anbau und Pflanzenschutz Nachwachsender Rohstoffe (Sonderkulturen). Eiweiß-, Öl-, Färber-, Inulin- und Faserpflanzen. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (Hrsg.). Berlin
- [112] MIRDORAGHI, M.; MALEKI FARAHANI, S.; REZAZADEH, A. (2024): Oilseeds in intercropping systems: Strategies to increase oil quality and fatty acid profile, a review. *Journal of Agriculture and Food Research*, Bd. 17, Artikel Nr. 101229
- [113] MOHAMMED, Y. A.; GESCH, R. W.; MATTHEES, H. L.; WELLS, S. S. (2022): Maturity selection but not sowing date enhances soybean Maturity selection but not sowing date enhances soybean productivity and land use in a winter camelina–soybean relay system. *Food and Energy Security*, Bd. 11, Artikel Nr. 346
- [114] MUNZERT, M. (2015): Landwirtschaftliche und gartenbauliche Versuche mit SAS. Mit 50 Programmen, 169 Tabellen und 18 Abbildungen. Springer-Lehrbuch. Berlin, Heidelberg: Springer, 449 Seiten, ISBN 978-3-642-544505-4
- [115] NEMECEK, T.; KÄGI, T. (2007): Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. Zürich, Dübendorf. ecoinvent report, Nr. 15, 360 Seiten
- [116] NESHEV, N.; MARCHEVA, M.; ZOROVSKI, P.; STANCHEV, G. (2023): Growth, Development, and Weed Suppression Capacity of *Camelina sativa* (L.) Crantz grown as Sole and Mixed Crop with Legumes. Preliminary Results. *Agronomy*, Bd. 61, Nr. 1, S. 467–473
- [117] NOGALES-DELGADO, S.; ENCINAR, J. M.; GONZÁLES, J. F. (2019): Safflower Biodiesel: Improvement of its Oxidative Stability by Using BHA and TBHQ. *Energies*, Bd. 12, Nr. 10, Artikel Nr. 1940
- [118] OBOUR, A. K.; SINTIM, H. Y.; OBENG, E.; JELIAZKOV, V. D. (2015): Oilseed *Camelina* (*Camelina sativa* L Crantz): Production Systems, Prospects and Challenges in the USA Great Plains. *Advances in Plants and Agriculture Research*, Bd. 2, Nr. 2, Artikel Nr. 43
- [119] OLIVEIRA, C. V. K. DE; SANTOS, R. F.; SIQUEIRA, J. A. C.; BARICCATTI, R. A.; LENZ, N. B. G.; CRUZ, G. S.; TOKURA, L. K.; KLAJN, F. F. (2018): Chemical characterization of oil and biodiesel from four safflower genotypes. *Industrial Crops and Products*, Bd. 123, S. 192–196
- [120] ÖZTÜRK, E.; ÖZER, H.; POLAT, T. (2008): Growth and yield of safflower genotypes grown under irrigated and non-irrigated conditions in a highland environment. *Plant, Soil and Environment*, Bd. 54, Nr. 10, S. 453–460
- [121] PAGANI, E.; ZANETTI, F.; FACCIOLLA, E.; MONTI, A. (2022): Camelina and Pea Intercropping for Weed Control in Organic Farming. *Agricoltura e alimentazione nel 2050*, Padova, 19. – 21. September 2022. Società Italiana di Agronomia. Convegno Nazionale, Nr. 51

- [122] PATRASCOIU, M.; RATHBAUER, J.; NEGREA, M.; RUDOLF, Z. (2013): Perspectives of safflower oil as biodiesel source for South Eastern Europe (comparative study: Safflower, soybean and rapeseed). *Fuel*, Bd. 111, S. 114–119
- [123] PAULSEN, H. M., PSCHIEDL, M. (2007): Drilltechnik zur Etablierung von Mischfruchtanbausystemen im ökologischen Landbau. In: PAULSEN, H. M.; SCHOCHOW, M. (Hrsg.): Anbau von Mischkulturen mit Ölpflanzen zur Verbesserung der Flächenproduktivität im ökologischen Landbau – Nährstoffaufnahme, Unkrautunterdrückung, Schaderregerbefall und Produktqualitäten: Institut für ökologischen Landbau, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL). Trenthorst, Sonderheft, 309, S. 108–114
- [124] PAULSEN, H. M., SCHOCHOW, M., REENTS, H. J. (2007): Unkrautvorkommen und Unkrautunterdrückung in Mischfruchtanbausystemen mit Ölpflanzen im ökologischen Landbau. In: PAULSEN, H. M.; SCHOCHOW, M. (Hrsg.): Anbau von Mischkulturen mit Ölpflanzen zur Verbesserung der Flächenproduktivität im ökologischen Landbau – Nährstoffaufnahme, Unkrautunterdrückung, Schaderregerbefall und Produktqualitäten: Institut für ökologischen Landbau, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL). Trenthorst, Sonderheft, 309, S. 81–95
- [125] PAULSEN, H. M.; SCHOCHOW, M. (2007): Erträge von Mischfruchtanbausystem mit Ölpflanzen im ökologischen Landbau. In: PAULSEN, H. M.; SCHOCHOW, M. (Hrsg.): Anbau von Mischkulturen mit Ölpflanzen zur Verbesserung der Flächenproduktivität im ökologischen Landbau – Nährstoffaufnahme, Unkrautunterdrückung, Schaderregerbefall und Produktqualitäten: Institut für ökologischen Landbau, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL). Trenthorst, Sonderheft, 309, S. 13–32
- [126] PAULSEN, H. M.; SCHOCHOW, M. (Hrsg.) (2007): Anbau von Mischkulturen mit Ölpflanzen zur Verbesserung der Flächenproduktivität im ökologischen Landbau – Nährstoffaufnahme, Unkrautunterdrückung, Schaderregerbefall und Produktqualitäten. Trenthorst. Institut für ökologischen Landbau, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL). Sonderheft, Nr. 309, 142 Seiten
- [127] PETRE, S. M.; JURCOANE, S.; DOBRE, P.; PETCU, R.; DIMITRIU, D. (2013): Life Cycle Assessment: By-Products in Biofuels Production Battle; Rapeseed vs. Camlina sativa L. *AgroLife Scientific Journal*, Bd. 2, Nr. 1, S. 58–65
- [128] PUDE, R.; WENIG, B. (2005): Pflanzen für die Industrie. Pflanzen, Rohstoffe, Produkte. 4. überarbeitete Aufl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (Hrsg.). Gülzow, 47 Seiten
- [129] RAEI, Y.; GHAREMANI, R.; GHASSEMI, S.; SHAFAGH-KOLVANAGH, J. (2022): Effect of chemical and biological fertilizers on the morphology and yield of safflower and soybean under monoculture and intercropping. *Advances in Horticultural Science*, Bd. 36, Nr. 2, S. 119–126
- [130] RICHARD, D.; LEIMBROCK-ROSCHE, L.; KEßLER, S.; STOLL, E.; ZIMMER, S. (2023): Soybean yield response to different mechanical weed control methods in organic agriculture in Luxembourg. In: *European Journal of Agronomy*, Bd. 147, Artikel Nr. 126842
- [131] RITZERT, A.; BÜHRER, U. (2025): Gespräch über Verwendungsmöglichkeiten von Hanf auf Tagung „Multitalent Hanf“ an Empfänger: Scholcz Susanne. Straubing
- [132] RÖSEMANN, C.; VOS, C.; HAENEL, H.-D.; DÄMMGEN, U.; DÖRING, U.; WULF, S.; EURICH-MENDEN, B.; DÖHLER, H.; STEUER, B.; OSTERBURG, B.; FUß, R. (2025) Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990–2023: Report on methods and data (RMD) Submission 2025. Göttingen: OpenAgrar

- [133] SADRAS, V., CALDERINI, D. (Hrsg.) (2021): Crop Physiology. Case Histories for Major Crops. San Diego: Elsevier Science & Technology, 779 Seiten, ISBN 978-0-12-819194-1
- [134] SAEIDI, M., RAEI, Y., AMINI, R., TAGHIZADEH, A., PASBAN-ESLAM, B., ROHI SARALAN, A. (2019): Competition Indices of Safflower and Faba Bean Intercrops as Affected by Fertilizers. *Notulae Scientia Biologicae*, Bd. 11, Nr. 1, S. 130–137
- [135] SAUCKE, H.; ACKERMANN, K. (2006): Weed suppression in mixed cropped grain peas and false flax (*Camelina sativa*). *Weed Research*, Bd. 46, S. 453–461
- [136] SAUCKE, H.; DINKEL, C. (2022): Interspecific competitive relationships between crop components and weeds in mixed cropped Faba bean (*Vicia faba* L.) with False Flax (*Camelina sativa* Crantz). *European Journal of Agronomy*, DOI: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4041738>
- [137] SAUCKE, H.; RIEMER, N. (2024): Die Bekämpfung überdenken?. *Raps*, Bd. 24, Nr.2, S. 20–21
- [138] SAUER, H. (2017): „Milpa“ – die Mischkultur von Bohne, Mais und Kürbis. *Landinfo (LEL)*, Ausgabe 1 2017, S. 42–44
- [139] SCHARF, I. (2020): Beginn eines Leindotter-Zuchtprogramms am Dottenfelderhof. Projektarbeit. Bad Vilbel: Landbauschule Dottenfelderhof e.V., 58 Seiten
- [140] SCHOCHOW, M.; STEPHAN, M.; PAULSEN, H. M.: VERBREITUNG VON MISCHFRUCHTANBAUSYSTEMEN MIT ÖLPFLANZEN IN DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN PRAXIS. IN: PAULSEN, H. M.; SCHOCHOW, M. (Hrsg.): Anbau von Mischkulturen mit Ölpflanzen zur Verbesserung der Flächenproduktivität im ökologischen Landbau – Nährstoffaufnahme, Unkrautunterdrückung, Schaderregerbefall und Produktqualitäten: Institut für ökologischen Landbau, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL). *Trenthorst, Sonderheft*, 309, S. 33–38
- [141] SCHRÖDER, D.; KÖPKE, U. (2012): Faba bean (*Vicia faba* L.) intercropped with oil crops – a strategy to enhance rooting density and to optimize nitrogen use and grain production?. *Field Crops Research*, Bd. 135, S. 74–81
- [142] SCHUSTER, W. (1992): Ölpflanzen in Europa. Frankfurt am Main: DLG-Verlag, 239 Seiten, ISBN 3-7690-0501-5
- [143] SENBAYRAM, M.; WENTHE, C.; LINGNER, A.; ISSELSTEIN, J.; STEINMANN, H.; KAYA, C.; KÖBKE, S. (2016): Legume-based mixed intercropping systems may lower agricultural born N2O emissions. *Energy, Sustainability and Society*, Bd. 6, Nr. 2
- [144] SHANMUGAM, S.; HEFNER, M.; PELCK, J. S.; LABOURIAU, R.; KRISTENSEN, H. L. (2021): Complementary resource use in intercropped faba bean Complementary resource use in intercropped faba bean and cabbage by increased root growth and nitrogen use in organic production. *Soil Use Manage*, Bd. 38, S. 729–740
- [145] SPORY, K. (2026): Ackerbohnenrost. URL: <https://www.legunet.de/anbau/ackerbohne/krankheiten/ackerbohnenrost>
- [146] SPORY, K. (2026): Erbsenkäfer. Bedeutung, URL: <https://www.legunet.de/anbau/erbse/schaedlinge/erbsenkaefer>

- [147] STATISTISCHES BUNDESAMT (Destatis) (2021): Sojaanbauflächen in Deutschland binnen fünf Jahren mehr als verdoppelt. URL: [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2021/PD21\\_31\\_p002.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2021/PD21_31_p002.html)
- [148] STATISTISCHES BUNDESAMT (Destatis) (2022): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Landwirtschaftliche Bodennutzung Anbau auf dem Acker (Fachserie 3, Reihe 3.1.2)
- [149] STRECKEL & SCHRADER GMBH & CO. KG (2025): Steigsichter Typ STS: Technische Daten, URL: <https://www.streckel-schrader.com/produkte/steigsichter/>
- [150] TAMBA-BEREHOIU, R.; JURCOANE, S.; POPA, N.-C. (2015): Perspectives in kerosene production from camelina sativa oil. Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies (14), S. 263–270
- [151] TECHNOLOGIE- UND FÖRDERZENTRUM (TFZ): Kraftstoffeigenschaften. Säurezahl. URL: <https://www.tfz.bayern.de/biokraftstoffe/pflanzenoelkraftstoff/035643/index.php#:~:text=Die%20S%C3%A4urezahl%20ist%20ein%20Ma%C3%9F%20f%C3%BCr%20den%20Gehalt,wird%20bereits%20durch%20die%20Saatqualit%C3%A4t%20%28Saatreife%2C%20Bruchkorn%29%20beeinflusst>
- [152] VERBAND DER DEUTSCHEN BIOKRAFTSTOFFINDUSTRIE (VDB) (2025): Die nachhaltige Dieselalternative. URL: <https://biokraftstoffverband.de/biokraftstoffe/biodiesel/>
- [153] VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN (VDLUFA) (1976): Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. 3. Auflage einschließlich Ergänzungslieferungen, 1.–8. Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (Methodenbuch), Band III: VDLUFA-Verlag, 2190 Seiten, ISBN 978-3-941273-14-6
- [154] VILLEGAS-FERNÁNDEZ, Á. M.; AMARNA, A. A.; MORAL, J.; RUBIALES, D. (2024): Intercropping as a Strategy for Weed Management in Faba Bean (*Vicia faba* L.). Agronomy, Bd. 14, Nr. 6, Artikel Nr. 1170
- [155] VOGT-KAUTE, W.; JACOB, I.; HERRMANN, J.; HERRLE, J.; HEILMEIER, L.; STEVENS, K.; ZERHUSEN-BLECHER, P.; MACK, R.; BICHLER, C.; KÖTTER-JÜRß, M.; QUENDT, U.; SPORY, K.; HANSEN, H.; GRÖBER, H.; GRONLE, A. (2021): Erbsen und Ackerbohnen anbauen und verwerten. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE). Bad Oeynhausen, 104 Seiten
- [156] VOS, C. (2025): Regionalspezifischer Koeffizient der Nitratauswaschung aus dem Stickstoffüberschuss: E-Mail
- [157] VOS, CORA; RÖSEMANN, CLAUS; HAENEL, HANS-DIETER; DÄMMGEN, ULRICH; DÖRING, ULRIKE; WULF, SEBASTIAN; EURICH-MENDEN, BRIGITTE; FREIBAUER, ANNETTE; DÖHLER, HELMUT; STEUER, BENJAMIN; OSTERBURG, BERNHARD; FUß, ROLAND (2025): Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990–2023: Input data and emission results. Göttingen: OpenAgrar. (2023). URL: [https://www.openagrar.de/receive/openagrar\\_mods\\_00105421](https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00105421)
- [158] WEHLING, P. (2009): Anbau und Züchtung von Leguminosen in Deutschland – Sachstand und Perspektiven, Fachgespräch im Julius Kühn-Institut, 21./22. April 2009 in Braunschweig – Bericht. Journal für Kulturpflanzen, Bd. 61, Nr. 9, S. 359–364
- [159] WEIH, M.; MÍNGUEZ, M. I.; TAVOLETTI, S. (2022): Intercropping Systems for Sustainable Agriculture. Agriculture, Bd. 12, Nr. 2, S. 291

- [160] WERNET, G.; BAUER, C.; STEUBING, B.; REINHARD, J.; MORENO-RUIZ, E.; WEIDEMA, B. (2016): The ecoinvent database version 3 (part I): Overview and methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment, Bd. 21, Nr. 9, S. 1218–1230
- [161] WIGGERING, H.; FINCKH, M.; HEß, J.; WEHLING, P.; MICHAELIS, T. (2012): Fachforum Leguminosen. Wissenschaft, Wirtschaft, Gesellschaft – Ökosystemleistungen von Leguminosen wettbewerbsfähig machen. Deutsche Agrarforschungsallianz (DAFA) (Hrsg.). Braunschweig, 64 Seiten
- [162] XIAO, J.; ZHU, Y.; BAI, W.; LIU, Z.; TANG, L.; ZHENG, Y. (2021): Yield performance and optimal nitrogen and phosphorus application rates in wheat and faba bean intercropping. Journal of Integrative Agriculture, Bd. 20, Nr. 11, S. 3012–3025
- [163] XU, Z.; LI, C.; ZHANG, C.; YU, Y.; VAN DER WERF, W.; ZHANG, F. (2020): Intercropping maize and soybean increases efficiency of land and fertilizer nitrogen use. A meta-analysis. Field Crops Research, Bd. 246, S. 107661
- [164] YANG, L.; LUO, Y.; LU, B.; ZHOU, G.; CHANG, D.; GAO, S.; ZHANG, J.; CHE, Z.; CAO, W. (2023): Long-term maize and pea intercropping improved subsoil carbon storage while reduced greenhouse gas emissions. Agriculture, Ecosystems & Environment, Bd. 349, S. 108444
- [165] YESILYURT, M. K.; CESUR, C.; ASLAN, V.; YILBASI, Z. (2020): The production of biodiesel from safflower (*Carthamus tinctorius* L.) oil as a potential feedstock and its usage in compression ignition engine: A comprehensive review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Bd. 119, Nr. 3, Artikel Nr. 109574
- [166] ZAYED, L.; GABLO, N.; KALCAKOVA, L.; DORDEVIC, S.; KUSHKEVYCH, I.; DORDEVIC, D.; TREMLOVA, B. (2024): Utilizing Used Cooking Oil and Organic Waste: A Sustainable Approach to Soap Production. Processes, Bd. 12, Nr. 6, Artikel Nr. 1279





## Anhang

**Tabelle 48:** Mittelwerte und Standardabweichung ( $n = 4$ ) der Kornerträge (FM nach Trocknung und Reinigung) des Gemengeanbaus von Erbse und Leindotter bzw. Saflor im Jahr 2024 bei unterschiedlichen Erbsensorten (Sortenversuch), unterschiedlichen Saatstärken (Saatstärkenversuch), unterschiedlichen Reihenweiten (Reihenversuch) und verschiedenen Mischungen mit unterschiedlichen Saatverfahren (Mischungen) sowie als Referenz Erbse, Leindotter und Saflor in Reinsaat

Versuch	Ölfrucht	Variante	Ertrag in dt/ha		
			Leguminose	Ölfrucht	Gemenge
Sortenversuch	Leindotter	Astronaut	13,86 ± 1,30	4,20 ± 0,31	18,05 ± 1,55
		Orchestra	14,77 ± 1,14	4,19 ± 0,18	18,96 ± 1,05
		Symbios	16,20 ± 3,16	3,74 ± 0,60	19,94 ± 2,91
Saatstärkenversuch	Leindotter	EF80/LND400	13,96 ± 2,77	3,59 ± 0,81	17,55 ± 2,61
		EF80/LND200	13,06 ± 3,90	3,37 ± 0,16	16,43 ± 3,94
		EF80/LND100	13,57 ± 3,36	3,05 ± 0,69	16,63 ± 3,34
		EF60/LND400	12,52 ± 1,97	4,57 ± 1,12	17,08 ± 1,37
		EF60/LND200	12,03 ± 2,36	4,22 ± 0,84	16,25 ± 2,18
		EF60/LND100	13,73 ± 2,04	3,45 ± 0,82	17,19 ± 2,20
		EF40/LND400	9,14 ± 3,24	4,00 ± 1,13	13,14 ± 4,24
		EF40/LND200	8,20 ± 2,80	3,46 ± 0,71	11,65 ± 3,51
		EF40/LND100	13,20 ± 1,66	3,47 ± 0,55	16,67 ± 1,65
Reihenversuch	Saflor	EF/SFL 16	16,44 ± 1,88	12,48 ± 1,05	28,92 ± 2,38
		EF/SFL 37,5	8,74 ± 1,69	16,79 ± 1,53	25,53 ± 0,79
	Leindotter	EF/LND 16	18,67 ± 1,67	4,99 ± 0,66	23,66 ± 2,14
		EF/LND 37,5	18,02 ± 2,61	5,24 ± 1,32	23,26 ± 1,33
	Hanf	EF/HF 16	29,48 ± 3,88	0,92 ± 0,31	30,39 ± 3,61
		EF/HF 37,5	16,48 ± 2,55	1,56 ± 0,68	18,04 ± 2,17
Mischungen	Saflor	EF/SFL Mix 37,5	11,80 ± 3,38	13,25 ± 3,88	25,05 ± 7,01
		EF/SFL Alt 16	12,93 ± 2,31	13,18 ± 3,98	26,11 ± 5,80
		EF/SFL Alt 37,5	12,66 ± 2,09	15,05 ± 2,27	27,71 ± 2,73
	Leindotter	EF/LND Mix 16	26,82 ± 4,46	3,77 ± 0,52	30,59 ± 3,99
		EF/LND Mix 37,5	28,09 ± 2,28	3,96 ± 1,23	32,05 ± 3,38
		EF/LND Mix 2 ÜF 16	27,79 ± 1,81	3,21 ± 0,23	31,00 ± 1,71
		EF/LND Mix 2 ÜF 37,5	22,56 ± 6,90	3,41 ± 1,15	25,97 ± 5,87

Versuch	Ölfrucht	Variante	Ertrag in dt/ha		
			Leguminose	Ölfrucht	Gemenge
Mischun- gen	Leindotter und Phacelia	EF/LND/Pha 16	24,18 ± 3,99	4,31 ± 0,59	28,48 ± 3,71
		EF/LND/Pha 37,5	24,13 ± 2,53	3,33 ± 0,41	27,46 ± 2,17
	Leindotter und Weiß- klee	EF/LND/WK Mix 16	26,80 ± 3,13	3,72 ± 0,29	30,52 ± 3,02
		EF/LND/WK Mix 37,5	24,35 ± 1,72	2,88 ± 0,60	27,23 ± 1,75
Reinsaaten -	Leindotter	EF/LND 37,5/16	25,28 ± 4,15	3,65 ± 1,27	28,92 ± 4,40
	-	EF-N+mech, Ernte 1	24,41 ± 1,77	-	-
	Leindotter	LND+N+mech, Ernte 1	-	7,99 ± 1,30	-
	-	LND-N+mech, Ernte 1	-	3,59 ± 1,51	-
	Saflor	SFL+N+PSM	-	23,83 ± 1,56	-
		SFL+N+mech	-	28,57 ± 3,75	-
		SFL-N+mech	-	14,62 ± 2,16	-

**Tabelle 49:** Mittelwerte und Standardabweichung ( $n = 4$ ,  $*n = 1$ ) der Kornerträge (FM nach Trocknung und Reinigung) des Gemengeanbaus von Erbse und Leindotter bzw. Saflor im Jahr 2025 bei unterschiedlichen Erbsensorten (Sortenversuch), unterschiedlichen Saatstärken (Saatstärkenversuch) und unterschiedlichen Reihenweiten (Reihenversuch) sowie als Referenz Erbse, Leindotter und Saflor in Reinsaat

Versuch	Ölfrucht	Variante	Ertrag in dt/ha		
			Leguminose	Ölfrucht	Gemenge
Sortenversuch	Leindotter	Astronauta	16,87 ± 1,23	7,81 ± 0,60	24,68 ± 0,69
		Orchestra	15,44 ± 3,90	8,13 ± 0,81	23,57 ± 3,55
		Symbios	17,79 ± 1,30	7,03 ± 0,63	24,83 ± 1,43
Saatstärkenversuch	Leindotter	EF60/LND100	18,29 ± 2,79	6,73 ± 1,08	25,02 ± 1,76
		EF60/LND200	15,87 ± 1,93	8,04 ± 0,61	23,91 ± 2,11
		EF60/LND400	13,82 ± 1,48	8,36 ± 0,64	22,18 ± 1,22
		EF80/LND100	18,73 ± 0,32	5,66 ± 0,85	24,39 ± 0,66
		EF80/LND200	15,85 ± 2,19	7,21 ± 0,86	23,06 ± 1,56
		EF80/LND400	16,32 ± 1,26	7,96 ± 0,67	24,28 ± 1,27
Reihenversuch	Saflor	EF/SFL 37,5	7,10 ± 2,27	15,25 ± 1,92	22,35 ± 3,68
	Leindotter	EF/LND 16 2 ÜF	17,46*	7,54*	25,01*
		EF/LND 37,5 2 ÜF	16,29 ± 0,24	8,30 ± 1,22	24,59 ± 1,46
		EF/LND 16 1 ÜF	19,36 ± 3,19	9,64 ± 0,25	29,00 ± 3,44
		EF/LND 37,5 1 ÜF	18,41*	9,28*	27,69*
		EF/LND/WK 16 1 ÜF	14,28 ± 2,85	8,49 ± 1,22	22,77 ± 4,08
		EF/LND/WK 37,5 1 ÜF	15,96 ± 2,58	8,51 ± 1,55	24,47 ± 1,71
Reinsaaten	-	EF-N+PSM	16,31 ± 7,11	-	-
	-	EF-N+mech	21,59 ± 9,57	-	-
	Leindotter	LND+N+PSM	-	15,12 ± 2,47	-
		LND+N+mech	-	15,63 ± 1,66	-
		LND-N+mech	-	13,84 ± 0,92	-
	Saflor	SFL+N+mech	-	19,94 ± 4,24	-
		SFL-N+mech	-	19,94 ± 1,48	-

**Tabelle 50:** Mittelwerte und Standardabweichung ( $n = 4$ ) der Kornerträge (FM nach Trocknung und Reinigung) des Gemengeanbaus von Ackerbohne und Saflor bzw. Leindotter im Jahr 2024 bei unterschiedlichen Ackerbohnen-sorten (Sortenversuch), unterschiedlichen Saatstärken (Saatstärkenversuch), unterschiedlichen Reihenweiten (Reihenversuch) und verschiedenen Mischungen mit unterschiedlichen Saatverfahren (Mischungen) sowie als Referenz Ackerbohne, Leindotter und Saflor in Reinsaat

Versuch	Ölfrucht	Variante	Ertrag in dt/ha		
			Leguminose	Ölfrucht	Gemenge
Sortenver-such	Saflor	Birgit	16,47 ± 1,59	6,54 ± 2,57	23,01 ± 1,12
		Stella	18,52 ± 1,22	5,87 ± 3,00	24,39 ± 3,87
		Jasmin	20,14 ± 3,72	7,90 ± 5,17	28,03 ± 3,40
Saatstär-kenver-such	Saflor	BA45/SFL75	16,38 ± 5,29	7,92 ± 2,72	24,30 ± 6,88
		BA45/SFL50	16,64 ± 3,35	8,83 ± 2,37	25,48 ± 5,06
		BA45/SFL25	14,38 ± 3,16	7,29 ± 1,25	21,67 ± 4,33
		BA35/SFL75	15,70 ± 2,97	8,50 ± 1,99	24,20 ± 3,09
		BA35/SFL50	16,35 ± 4,34	7,61 ± 2,78	23,97 ± 5,46
		BA35/SFL25	14,45 ± 2,47	8,38 ± 0,73	17,13 ± 1,75
		BA25/SFL75	13,47 ± 1,77	9,94 ± 2,22	23,41 ± 3,78
		BA25/SFL50	12,43 ± 1,86	9,56 ± 0,88	21,98 ± 2,56
		BA25/SFL25	11,72 ± 3,59	9,61 ± 2,22	21,33 ± 4,42
Reihen-ver-such	Saflor	BA/SFL 16	21,47 ± 4,14	4,86 ± 2,06	26,33 ± 5,56
		BA/SFL 37,5	17,70 ± 0,51	7,86 ± 2,91	25,56 ± 2,88
	Leindotter	BA/LND 16	23,47 ± 4,06	1,31 ± 0,25	24,78 ± 4,15
		BA/LND 37,5	21,01 ± 3,91	1,74 ± 0,34	22,75 ± 4,24
	Hanf	BA/HF 16	23,45 ± 4,12	-	23,45 ± 4,12
		BA/HF 37,5	15,23 ± 3,26	-	15,23 ± 3,26
Mischun-gen	Saflor	BA/SFL Mix 16	32,96 ± 3,41	-	-
		BA/SFL Mix 37,5	30,57 ± 3,18	-	-
		BA/SFL Alt 16	34,80 ± 2,57	-	-
		BA/SFL Alt 37,5	30,88 ± 1,19	-	-
	Saflor und Leindotter	BA/SFL/LND Mix 16	35,39 ± 4,80	-	-
		BA/SFL/LND Mix 37,5	34,05 ± 2,19	-	-
	Saflor und Phacelia	BA/SFL/Pha Mix 16	36,48 ± 3,66	-	-
		BA/SFL/Pha Mix 37,5	31,70 ± 5,43	-	-
	Saflor und Weißklee	BA/SFL/WK Mix 16	34,95 ± 3,03	-	-
		BA/SFL/WK Mix 37,5	33,25 ± 1,30	-	-
Reinsaa-ten	-	BA-N+mech	27,37 ± 2,34	-	-



Versuch	Ölfrucht	Variante	Ertrag in dt/ha		
			Leguminose	Ölfrucht	Gemenge
Reinsaa- ten	Leindotter	LND+N+mech	-	9,76 ± 0,21	-
		LND+N+mech	-	7,99 ± 1,30	-
		LND-N+mech	-	3,59 ± 1,51	-
	Saflor	SFL+N+PSM	-	23,83 ± 1,56	-
		SFL+N+mech	-	28,57 ± 3,75	-
		SFL-N+mech	-	14,62 ± 2,16	-

**Tabelle 51:** Mittelwerte und Standardabweichung ( $n = 4$ ) der Kornerträge (FM nach Trocknung und Reinigung) des Gemengeanbaus von Ackerbohne und Saflor bzw. Leindotter im Jahr 2025 bei unterschiedlichen Ackerbohnen-sorten (Sortenversuch), unterschiedlichen Saatstärken (Saatstärkenversuch), unterschiedlichen Reihenweiten (Reihenversuch) sowie als Referenz Ackerbohne, Leindotter und Saflor in Reinsaat

Versuch	Ölfrucht	Variante	Ertrag in dt/ha		
			Leguminose	Ölfrucht	Gemenge
Sortenver-suche	Saflor	Birgit	9,18 ± 0,98	15,37 ± 1,19	24,55 ± 1,75
		Ketu	10,46 ± 2,90	14,59 ± 1,23	25,05 ± 2,00
		Jasmin	6,50 ± 1,38	15,43 ± 2,53	21,94 ± 3,58
Saatstär-kenversuch	Saflor	BA35/SFL25	13,09 ± 2,70	14,65 ± 0,82	27,74 ± 2,63
		BA35/SFL50	12,41 ± 0,99	15,36 ± 1,75	27,77 ± 1,26
		BA35/SFL75	13,27 ± 0,59	14,27 ± 0,52	27,54 ± 0,68
		BA45/SFL25	14,02 ± 1,82	15,14 ± 1,10	29,15 ± 2,26
		BA45/SFL50	12,71 ± 2,15	14,86 ± 0,56	27,57 ± 2,51
		BA45/SFL75	12,99 ± 1,54	14,52 ± 1,03	27,51 ± 1,75
Reihenver-such	Saflor	BA/SFL 37,5	15,64 ± 3,13	12,87 ± 2,09	28,50 ± 5,16
		BA/SFL 37,5 1 ÜF	16,63 ± 3,09	11,14 ± 2,88	27,77 ± 1,93
		BA/SFL/WK 37,5 1 ÜF	17,54 ± 1,87	9,55 ± 1,42	27,10 ± 3,06
	Leindot-ter	BA/LND 37,5	20,74 ± 0,06	5,71 ± 0,71	26,45 ± 0,65
Reinsaaten	-	BA-N+PSM, Ernte 2	35,25 ± 0,99	-	-
	-	BA-N+mech, Ernte 2	34,55 ± 4,25	-	-
	Leindot-ter	LND+N+PSM, Ernte 2	-	15,10 ± 1,49	-
		LND+N+mech, Ernte 2	-	16,59 ± 1,63	-
		LND-N+mech, Ernte 2	-	13,89 ± 1,13	-
	Saflor	SFL+N+mech, Ernte 1	-	19,94 ± 4,24	-
		SFL-N+mech, Ernte 1	-	19,94 ± 1,48	-

**Tabelle 52:** Mittelwerte und Standardabweichung ( $n = 4$ ,  $*n = 1$ ) der Kornerträge (FM nach Trocknung und Reinigung) des Gemengeanbaus von Sojabohne und Saflor, Leindotter bzw. Hanf im Jahr 2024 bei unterschiedlichen Sojabohnensorten (Sortenversuch), unterschiedlichen Saatstärken (Saatstärkenversuch), unterschiedlichen Reihenweiten (Reihenversuch) und verschiedenen Mischungen mit unterschiedlichen Saatverfahren (Mischungen) sowie als Referenz Ackerbohne, Leindotter und Saflor in Reinsaat

Versuch	Ölfrucht	Variante	Ertrag in dt/ha		
			Leguminose	Ölfrucht	Gemenge
Sortenversuch	Saflor	ES Comandor	17,82 ± 2,08	8,96 ± 1,97	26,78 ± 3,03
		Sahara	22,70 ± 2,41	5,97 ± 1,80	28,67 ± 1,25
		Achillea	25,11 ± 4,28	5,84 ± 0,87	30,95 ± 4,28
Saatstärkenversuch	Saflor	SJ70/SFL75	21,41 ± 2,71	5,31 ± 1,27	26,72 ± 2,77
		SJ70/SFL50	18,40 ± 5,16	5,16 ± 2,78	23,56 ± 4,37
		SJ70/SFL25	22,58 ± 2,78	5,21 ± 2,56	27,79 ± 1,32
		SJ53/SFL75	18,97 ± 2,90	5,11 ± 0,98	24,08 ± 3,63
		SJ53/SFL50	18,94 ± 3,87	4,97 ± 1,47	23,91 ± 2,71
		SJ53/SFL25	20,20 ± 2,43	4,76 ± 1,18	24,95 ± 3,49
		SJ35/SFL75	18,24 ± 4,61	5,79 ± 2,01	24,02 ± 3,33
		SJ35/SFL50	17,07 ± 2,88	6,29 ± 0,31	23,36 ± 2,58
		SJ35/SFL25	18,76 ± 3,99	5,08 ± 1,64	23,84 ± 3,30
Reihenversuch	Saflor	SJ/SFL 16	16,13 ± 1,72	7,60 ± 1,60	23,73 ± 3,04
		SJ/SFL 37,5	15,04 ± 2,56	7,86 ± 0,67	22,89 ± 2,95
	Leindotter	SJ/LND 16	37,96 ± 2,32	0,16 ± 0,05	38,12 ± 2,32
		SJ/LND 37,5	37,89 ± 4,73	0,12 ± 0,07	38,01 ± 4,69
	Hanf	SJ/HF 16	31,82 ± 4,27	1,26 ± 0,25	33,08 ± 4,05
		SJ/HF 37,5	30,93*	1,46*	32,39*
Mischungen	Saflor	SJ/SFL Mix 16	8,96 ± 1,51	6,65 ± 2,60	15,61 ± 1,73
		SJ/SFL Mix 37,5	12,24 ± 1,26	5,20 ± 0,51	17,45 ± 1,18
		SJ/SFL Alt 16	12,22 ± 3,16	6,12 ± 0,42	18,34 ± 2,91
		SJ/SFL Alt 37,5	12,64 ± 3,86	4,75 ± 0,44	17,38 ± 4,23
	Saflor und Phacelia	SJ/SFL/Pha 16	11,63 ± 1,25	6,02 ± 2,00	17,65 ± 0,98
		SJ/SFL/Pha 37,5	12,32 ± 1,17	4,45 ± 1,15	16,77 ± 2,07
	Saflor und Weißklee	SJ/SFL/WK Mix 16	10,31 ± 1,21	6,89 ± 1,99	17,20 ± 1,83
		SJ/SFL/WK Mix 37,5	13,66 ± 1,48	4,51 ± 1,08	18,16 ± 2,55
Reinsaaten	-	SJ	37,55 ± 1,94	-	-

**Tabelle 53:** Mittelwerte und Standardabweichung ( $n = 4$ ,  $*n = 1$ ) der Kornerträge (FM nach Trocknung und Reinigung) des Gemengeanbaus von Sojabohne und Leindotter im Jahr 2025 bei unterschiedlichen Sojabohnensorten (Sortenversuch) sowie als Referenz Ackerbohne, Leindotter und Saflor in Reinsaat

Versuch	Ölfrucht	Variante	Ertrag in dt/ha		
			Leguminose	Ölfrucht	Gemenge
Sortenversuch	Leindotter	ES Comandor	6,16 ± 2,71	10,30 ± 1,18	16,46 ± 1,97
		Sussex	3,99 ± 2,29	11,74 ± 3,66	15,73 ± 5,90
		ES Compositor	11,01 ± 2,26	10,42 ± 2,26	21,42 ± 2,85
		Ascada	7,10 ± 1,05	12,11 ± 0,62	19,21 ± 1,57
		Acardia	11,89 ± 5,00	10,68 ± 2,34	22,57 ± 2,75
		Adelfia	9,32 ± 4,46	10,21 ± 1,49	19,53 ± 4,20
		Sahara	12,74 ± 3,33	10,64 ± 2,00	23,38 ± 3,23
Reinsaaten	-	SJ-N+PSM	27,32 ± 8,15	-	-
	-	SJ-N+mech	27,21 ± 16,62	-	-
	Leindotter	LND+N+PSM	-	28,77*	-
		LND+N+mech	-	20,96 ± 12,58	-
		LND-N+mech	-	21,42 ± 7,41	-

**Tabelle 54:** Betriebsmittel und Feldemissionen Lachgas und Nitrat des Anbaus von Futtererbse und Leindotter in Reinsaat sowie von Futtererbse/Leindotter im Gemenge im Anbaujahr 2025

	Futtererbse	Leindotter mit N-Dün- gung	Leindotter ohne N-Dün- gung	Futtererbse- Leindotter- Gemenge
Saatgut Futtererbse in kg/ha	226	-	-	170
Saatgut Leindotter in kg/ha	-	4,4	4,4	2,2
Düngemittel in kg N/ha	-	51	-	-
Düngemittel in kg KAS/ha	-	188,9	-	-
Lachgasemissionen in kg N/ha	0,649	0,861	0,232	0,599
Nitratemissionen in kg N/ha	6,978	15,192	2,144	4,095

**Tabelle 55:** Arbeitsverfahren mit Dieselverbrauch in kg/ha des Anbaus von Futtererbse und Leindotter in Reinsaat sowie von Futtererbse/Leindotter im Gemenge im Anbaujahr 2025

	Futtererbse	Leindotter mit N-Dün- gung	Leindotter ohne N-Dün- gung	Futtererbse- Leindotter- Gemenge
Boniturfahrten	0,16	0,16	0,16	0,16
Pflügen mit Drehpflug	18,75	18,75	18,75	18,75
Grubbern mit Flügelschargrubber, flach	9,17	9,17	9,17	9,17
Eggen mit Saatbettkombination	-	-	-	5,49
Saatguttransport	1,51	-	-	1,14
Säen von Leindotter als Gemen- gepartner	-	-	-	0,97
Säen von Weizen, Ackerboh- nen, Erbsen; Sojabohnen mit Kreiselegge und Sämaschine	11,12	11,12	11,12	-
Säen von Weizen, Ackerboh- nen, Erbsen; Sojabohnen mit Sämaschine	-	-	-	4,14
Striegeln	2,86	2,86	2,86	2,86
Hacken von Sonnenblumen, Ackerbohnen, Sojabohnen	4,04	4,04	4,04	4,04
Mineraldünger (Haarmehlpellets, PK, K, P, KAS) ausbringen, ab Lager, loser Dünger (370 kg)	-	1,51	-	-



	Futtererbse	Leindotter mit N-Dün- gung	Leindotter ohne N-Dün- gung	Futtererbse- Leindotter- Gemege
Mähdrusch von Erbsen, Lupi- nen; Standwagen am Schlag- rand	16,15 (2 t)	-	-	17,20 (2,5 t)
Mähdrusch von Raps, Acker- bohnen, Öllein; Standwagen am Schlagrand	-	14,10 (1,5 t)	14,10 (1,5 t)	-
Korntransport; Ab- und Aufde- cken; 2 × Wiegen	1,01	0,74	0,64	1,10
Eggen mit Scheibenegge, schräg (30°), flach	6,17	6,17	6,17	-
Eggen mit Scheibenegge, schräg (30°), tief	7,95	7,95	7,95	-
Stoppelbearbeitung, flach, schräg (30°)	-	-	-	5,73
Stoppelbearbeitung, tief, schräg (30°)	-	-	-	6,68

*Tabelle 56: Betriebsmittel und Feldemissionen Lachgas und Nitrat des Anbaus von Ackerbohne, Saflor und Sojabohne in Reinsaat sowie von Ackerbohne/Saflor im Gemenge und Sojabohne/Saflor im Gemenge im Anbaujahr 2024*

	Acker- bohne	Saflor mit N- Düngung	Saflor ohne N- Düngung	Soja- bohne	Acker- bohne- Saflor- Ge- menge	Soja- bohne- Saflor- Ge- menge
Saatgut Leguminose in kg/ha	210	-	-	174	164	132
Saatgut Saflor in kg/ha	-	30	30	-	20	20
Düngemittel in kg N/ha	-	75	-	-	-	-
Düngemittel in kg KAS/ ha	-	274	-	-	-	-
Lachgasemissionen in kg N/ha	0,846	1,217	0,255	0,996	0,574	0,546
Nitratemissionen in kg N/ha	10,869	7,879	0,140	0	0	0,374

**Tabelle 57:** *Arbeitsverfahren mit Dieserverbrauch in kg/ha des Anbaus von Ackerbohne, Saflor und Sojabohne in Reinsaat sowie von Ackerbohne/Saflor im Gemenge und Sojabohne/Saflor im Gemenge im Anbaujahr 2024*

	Acker- bohne	Saflor mit N- Düngung	Saflor ohne N- Düngung	Acker- bohne- Saflor- Ge- menge	Soja- bohne	Soja- bohne- Saflor- Ge- menge
Boniturfahrten	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
Pflügen mit Drehpflug	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75
Grubbern mit Flügel- schargrubber, flach	9,17	9,17	9,17	9,17	9,17	9,17
Eggen mit Saatbettkombi- nation	-	-	-	5,49	-	5,49
Saatguttransport	1,41	-	-	1,21	1,17	1,01
Säen von Weizen, Acker- bohnen, Erbsen; Sojaboh- nen mit Kreiselegge und Sämaschine	11,12	11,12	11,12	-	11,12	-
Säen von Weizen, Acker- bohnen, Erbsen; Sojaboh- nen mit Sämaschine	-	-	-	4,14	-	4,14
Striegeln	2,86	2,86	2,86	2,86	2,86	2,86
Hacken von Sonnenblumen, Ackerbohnen, Sojabohnen	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04
Mineraldünger (Haarmehl- pellets, PK, K, P, KAS) aus- bringen, ab Lager, loser Dünger (370 kg)	-	1,51	-	-	-	-
Mähdrusch von Raps, Ackerbohnen, Öllein; Stand- wagen am Schlagrand	16,44 (2,7 t)	16,44 (2,7 t)	14,10 (1,5 t)	16,07 (2,5 t)	17,93 (3,5 t)	15,68 (2,3 t)
Korntransport; Ab- und Auf- decken; 2 × Wiegen	1,24	0,69	1,20	1,10	1,75	1,06
Eggen mit Scheibenegge, schräg (30°), flach	6,17	6,17	6,17	-	6,17	-
Eggen mit Scheibenegge, schräg (30°), tief	7,95	7,95	7,95	-	7,95	-
Stoppelbearbeitung, flach, schräg (30°)	-	-	-	5,73	-	5,73
Stoppelbearbeitung, tief, schräg (30°)	-	-	-	6,68	-	6,68

**Tabelle 58:** Betriebsmittel und Feldemissionen Lachgas und Nitrat des Anbaus von Futtererbse und Leindotter in Reinsaat sowie von Futtererbse/Leindotter im Gemenge im Anbaujahr 2024

	Futtererbse	Leindotter mit N-Dün- gung	Leindotter ohne N-Dün- gung	Futtererbse- Leindotter- Gemenge
Saatgut Futtererbse in kg/ha	210	-	-	160
Saatgut Leindotter in kg/ha	-	4,6	4,6	2,3
Düngemittel in kg N/ha	-	75	-	-
Düngemittel in kg KAS/ha	-	274	-	-
Lachgasemissionen in kg N/ha	0,732	1,005	0,094	0,506
Nitratemissionen in kg N/ha	7,748	19,187	3,709	4,476

**Tabelle 59:** Arbeitsverfahren mit Dieselverbrauch in kg/ha des Anbaus von Futtererbse und Leindotter in Reinsaat sowie von Futtererbse/Leindotter im Gemenge im Anbaujahr 2024

	Futtererbse	Leindotter mit N-Dün- gung	Leindotter ohne N-Dün- gung	Futtererbse- Leindotter- Gemenge
Boniturfahrten	0,16	0,16	0,16	0,16
Pflügen mit Drehpflug	18,75	18,75	18,75	18,75
Grubbern mit Flügelschargrubber, flach	9,17	9,17	9,17	9,17
Eggen mit Saatbettkombination	-	-	-	5,49
Saatguttransport	1,41	-	-	1,07
Säen von Leindotter als Gemen- gepartner	-	-	-	0,97
Säen von Weizen, Ackerboh- nen, Erbsen; Sojabohnen	11,12 (mit Kreisel- egge und Sämaschine, 260 kg)	11,12 (mit Kreisel- egge und Sämaschine, 260 kg)	11,12 (mit Kreisel- egge und Sämaschine, 260 kg)	4,14 (mit Säma- schine, 200 kg)
Striegeln	2,86	2,86	2,86	2,86
Hacken von Sonnenblumen, Ackerbohnen, Sojabohnen	4,04	4,04	4,04	4,04
Mineraldünger (Haarmehlpellets, PK, K, P, KAS) ausbringen, ab Lager, loser Dünger (270 kg)	-	1,47	-	-
Mähdrusch von Erbsen, Lupi- nen; Standwagen am Schlag- rand	17,20 (2,5 t)	-	-	16,15 (2 t)

	Futtererbse	Leindotter mit N-Dün- gung	Leindotter ohne N-Dün- gung	Futtererbse- Leindotter- Gemeinde
Mähdrusch von Raps, Acker- bohnen, Öllein; Standwagen am Schlagrand	-	12,91 (1 t)	12,91 (1 t)	-
Korntransport; Ab- und Aufde- cken; 2 × Wiegen	1,10	0,37	0,18	0,87
Eggen mit Scheibenegge, schräg (30°), flach	6,17	6,17	6,17	-
Eggen mit Scheibenegge, schräg (30°), tief	7,95	7,95	7,95	-
Stoppelbearbeitung, flach, schräg (30°)	-	-	-	5,73
Stoppelbearbeitung, tief, schräg (30°)	-	-	-	6,68

## **Berichte aus dem TFZ**

Bisher erschienene Ausgaben der Schriftenreihe des Technologie- und Förderzentrums:

- 1      Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich – Projektphase 1: Erhebung der Ölqualität und Umfrage in der Praxis
- 2      Erprobung der Brennwerttechnik bei häuslichen Holzhackschnitzelheizungen mit Sekundärwärmetauscher
- 3      Daten und Fakten zur dezentralen Ölgewinnung in Deutschland
- 4      Untersuchungen zum Feinstaubausstoß von Holzzentralheizungsanlagen kleiner Leistung
- 5      Qualität von kaltgepresstem Rapsöl als Speiseöl und Festlegung eines Qualitätsstandards
- 6      Entwicklung einer Prüfmethode zur Bestimmung der Cetanzahl von Rapsölkraftstoff
- 7      Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Rapsöl als Kraftstoff und dem Motorenöl in pflanzenöлтаuglichen Motoren
- 8      Wärmegewinnung aus Biomasse – Begleitmaterialien zur Informationsveranstaltung
- 9      Maize as Energy Crop for Combustion – Agricultural Optimisation of Fuel Supply
- 10     Staubemissionen aus Holzfeuerungen – Einflussfaktoren und Bestimmungsmethoden
- 11     Rationelle Scheitholzbereitstellungsverfahren
- 12     Qualitätssicherung bei der dezentralen Pflanzenölerzeugung für den Nicht-Nahrungsbereich – Technologische Untersuchungen und Erarbeitung von Qualitätssicherungsmaßnahmen
- 13     Getreidekörner als Brennstoff für Kleinfeuerungen – Technische Möglichkeiten und Umwelteffekte
- 14     Mutagenität der Partikelemissionen eines mit Rapsöl- und Dieselmotoren betriebenen Traktors
- 15     Befragung von Betreibern dezentraler Ölsaatenverarbeitungsanlagen
- 16     Schnellbestimmung des Wassergehaltes im Holzscheit
- 17     Untersuchungen zum Einsatz rapsölbetriebener Traktoren beim Lehr-, Versuchs- und Fachzentrum für Ökologischen Landbau und Tierhaltung Kringell
- 18     Miscanthus als nachwachsender Rohstoff – Ergebnisse als bayerischen Forschungsarbeiten
- 19     Miscanthus: Anbau und Nutzung – Informationen für die Praxis



- 20 Prüfung der Eignung von Verfahren zur Reduktion ablagerungs- und aschebildender Elemente in Rapsölkraftstoff bei der dezentralen Erzeugung
- 21 Kleine Biomassefeuerungen – Marktbetrachtungen, Betriebsdaten, Kosten und Wirtschaftlichkeit
- 22 Partikelemissionen aus Kleinfeuerungen für Holz und Ansätze für Minderungsmaßnahmen
- 23 Bewertung kostengünstiger Staubabscheider für Einzelfeuerstätten und Zentralheizungskessel
- 24 Charakterisierung von Holzbriketts
- 25 Additivierung von Rapsölkraftstoff – Auswahl der Additive und Überprüfung der Wirksamkeit
- 26 Status quo der dezentralen Ölgewinnung – bundesweite Befragung
- 27 Entwicklung einer Siloabdeckung aus nachwachsenden Rohstoffen
- 28 Sorghumhirse als nachwachsender Rohstoff – Sortenscreening und Anbauszenarien
- 29 Sorghum als Energiepflanze – Optimierung der Produktionstechnik
- 30 Ethanol aus Zuckerhirse – Gesamtkonzept zur nachhaltigen Nutzung von Zuckerhirse als Rohstoff für die Ethanolherstellung
- 31 Langzeiterfahrungen zum Einsatz von Rapsölkraftstoff in Traktoren der Abgasstufen I und II
- 32 Pflanzenöлтаugliche Traktoren der Abgasstufe IIIA – Prüfstanduntersuchungen und Feldeinsatz auf Betrieben der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft
- 33 Betriebs- und Emissionsverhalten eines pflanzenöлтаuglichen Traktors mit Rapsöl, Sojaöl und Sonnenblumenöl
- 34 Dezentrale Ölsaatenverarbeitung 2012/2013 – eine bundesweite Befragung
- 35 Additivierung von Rapsölkraftstoff – Projektphase 2: Langzeit- und Prüfstanduntersuchungen
- 36 Nutzer- und Brennstoffeinflüsse auf Feinstaubemissionen aus Kleinfeuerungsanlagen
- 37 Screening und Selektion von Amarantsorten und -linien als spurenelementreiches Biogassubstrat
- 38 Untersuchung der Praxistauglichkeit eines Elektrofilters für Kleinfeuerungsanlagen
- 39 Eignung von Buchweizen und Quinoa als späte Zweitfrüchte für die Biogasnutzung
- 40 Optimale Bereitstellungsverfahren für Holzhackschnitzel
- 41 Qualitätssicherung bei der dezentralen Herstellung von Rapsölkraftstoff nach DIN 51605

- 42 Weiterentwicklung einer Siloabdeckung auf Basis Nachwachsender Rohstoffe
- 43 Brennstoffqualität von Holzpellets
- 44 Herstellung und Demonstration der Praxistauglichkeit von Traktoren mit Motoren der Abgasstufe IV im Betrieb mit Pflanzenöl
- 45 ExpRessBio – Methoden
- 46 Qualität von Holzhackschnitzeln in Bayern
- 47 Pflanzenöлтаugliche Traktoren der Abgasstufen I bis IIIB
- 48 Sorghum als Biogassubstrat – Präzisierung der Anbauempfehlungen für bayerische Anbaubedingungen
- 49 Zünd- und Verbrennungsverhalten alternativer Kraftstoffe
- 50 Rapsölkraftstoffproduktion in Bayern – Analyse und Bewertung ökologischer und ökonomischer Wirkungen nach der ExpRessBio-Methode
- 51 Emissions- und Betriebsverhalten eines Biomethantraktors mit Zündstrahlmotor
- 52 Schnellbestimmung des Wassergehalts von Holzhackschnitzeln
- 53 Bioenergieträger mit Blühaspekt: Leguminosen-Getreide-Gemenge
- 54 Dauerkulturen – Aufzeigen der bayernweiten Anbaueignung
- 55 Lagerung von Holzhackschnitzeln
- 56 Holzhackschnitzel aus dem Kurzumtrieb
- 57 Optimierungspotenziale bei Kaminöfen – Emissionen, Wirkungsgrad und Wärmeverluste
- 58 Überführung einer Siloabdeckung auf Basis Nachwachsender Rohstoffe in die Praxisreife
- 59 Regionalspezifische Treibhausgasemissionen der Rapsrerzeugung in Bayern
- 60 Langzeitmonitoring pflanzenöлтаuglicher Traktoren der Abgasstufen I bis IV
- 61 Nutzereinflüsse auf die Emissionen aus Kaminöfen
- 62 Abgasverhalten von Fahrzeugen im realen Betrieb mit alternativen Kraftstoffen – Bestimmung mit einem portablen Emissionsmesssystem (PEMS)
- 63 Rapsölkraftstoff als Energieträger für den Betrieb eines forstwirtschaftlichen Vollernters (Harvester)
- 64 Amarant als Biogassubstrat – Selektion zur Erarbeitung praxistauglicher Amarantlinien für bayerische Standorte
- 65 Schwierige Pelletbrennstoffe für Kleinfeuerungsanlagen – Verbrennungstechnische Optimierung durch Additivierung und Mischung
- 66 Einflussfaktoren auf die NO<sub>x</sub>-Emissionen in Hackschnitzelheizwerken zwischen 1 und 5 Megawatt

- 67 Gärrestversuch Bayern – Prüfung der langfristigen Nachhaltigkeit der Nutzungspfade Biogas und BtL
- 68 Hanf zur stofflichen Nutzung – Stand und Entwicklungen
- 69 Grundlagenorientierte Untersuchungen zum Zünd- und Verbrennungsverhalten von Pflanzenölkraftstoff und Übertragung auf ein Motorsystem der Abgasstufe V (EVOLUM)
- 70 Effiziente Lagerungs- und Aufbereitungsverfahren für Holzhackschnitzel
- 71 Ertragsstabilität, Etablierung und Umweltparameter mehrjähriger Energiepflanzen – Dauerkulturen II
- 72 Stoffliche Nutzung von Biomasseaschen als Baustein der Bioökonomie
- 73 Agri-Photovoltaik – Stand und offene Fragen
- 74 Erweiterte Holzpelletcharakterisierung – Einfluss bekannter und neuer Brennstoffparameter auf die Emissionen aus Pelletöfen und -kesseln
- 75 Entwicklung von Umbruchstrategien für Dauerkulturflächen und Weiterführung des Gärrestdüngungsversuchs in Durchwachsener Silphie
- 76 Mineralisch verschmutzte Holzbrennstoffe – Teil 1: Auswirkungen auf die Verbrennung
- 77 Paludikulturen für Niedermoorböden in Bayern – Thermische Verwertung
- 78 Verwertung und Anbauoptimierung von Hanf als nachwachsender Rohstoff
- 79 Realemissionen und Nutzungsgrade von kleinen automatisch beschickten Holz-Zentralheizungskesseln mittels Lastzyklus-Methode – Methodenentwicklung und Ergebnisse einer Serienprüfung
- 80 Klimafreundliche Landmaschinen im Feldtest
- 81 HVO-Diesel für Traktoren – Analyse zum Einsatz des paraffinischen Dieselmotorkraftstoffs HVO auf Staatsbetrieben
- 82 Innovative Verfahrensketten für Holzbrennstoffe mit einem Duplex-Schneckenhacker
- 83 Spritzbares Mulchmaterial im Wein- und Obstbau
- 84 Spritzbares Mulchmaterial im Gemüsebau
- 85 Konzeption von Agri-Photovoltaik-Anlagen
- 86 Silphie-Anbau in der nördlichen Frankenalb – Agrarfachliche Begleitung des Demonstrationsprojekts
- 87 Künstliche Intelligenz und Drohnen: Automatisierte Beikrautidentifikation in Sorghumfeldern
- 88 Handreichung Ascheverwertung – Leitfaden für Betreiber von Biomasseheizwerken
- 89 Gärrestdüngung und umweltschonende Umbruchmethoden in Durchwachsener Silphie

- 90 Mischanbau zur Produktion von Pflanzenölen und -proteinen als Nachhaltige Rohstoffe
- 95 Eigenversorgung der Bayerischen Landwirtschaft mit erneuerbarer Energie für den Einsatz in mobilen Maschinen





