

Schlussbericht

zum Vorhaben

Thema: Sorghum-Blümmischungen für einen insektenfreundlichen Energiepflanzenanbau (SoBinEn)

Zuwendungsempfänger:

Teilvorhaben 1: Justus-Liebig-Universität Gießen (JLU), Professur für Pflanzenzüchtung

Teilvorhaben 2: Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (LLH), Bieneninstitut Kirchhain

Teilvorhaben 3: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ)

Teilvorhaben 4: Evaluierung von Untersaatkomponenten für den Sorghummischbau (DSV)

Förderkennzeichen:

Teilvorhaben 1: 2219NR192

Teilvorhaben 2: 2219NR452

Teilvorhaben 3: 2219NR445

Teilvorhaben 4: 2219NR449

Laufzeit:

01.05.2020 bis 30.04.2023

(Teilvorhaben 1: kostenneutrale Verlängerung bis 31.12.2023)

Monat der Erstellung: 02/2024

Datum der Veröffentlichung: 13.08.2024

Gefördert durch:



**Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft**

**aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages**

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

Inhaltsverzeichnis

I.	Kurzbericht	1
1.	Aufgabenstellung	1
2.	Planung und Ablauf des Vorhabens	1
3.	Resümee der wesentlichen Ergebnisse	1
a)	Arbeitspakete und Meilensteine	1
b)	Zusammenfassung	2
II.	Ausführliche Darstellung der Ergebnisse	3
1.	Erzielte Ergebnisse	3
	Arbeitspaket 1: Prüfung einer großen Anzahl Gemenge und Untersaaten in Sorghum Dualtyp-Hybriden auf Wert für Insekten und Praxistauglichkeit	3
	Zweijähriger Kernversuch	11
	Untersuchungen zur Wertigkeit der geprüften Kombinationen für Bienen und andere Insekten	13
	Prüfung der Gemenge im einjährigen Kleinparzellenversuch auf ihre Wertigkeit für Insekten	13
	zweijähriger Testansatz der Kleinparzellenversuche	16
	Prüfung weiterer Gemengepartner	18
	Arbeitspaket 2: Optimierung geeigneter Sorghum-Mischungen hinsichtlich pflanzenbaulicher Aspekte und Sortenwahl	20
	Grasgemenge-Versuch	20
	Aussaatzeitpunkt-Versuch	22
	Gemenge-Versuch	26
	Strip-Till-Versuch	29
	Reihenweite-Versuch	30
	Saatdichte-Versuch	32
	Weitere Versuche und Analysen am Standort Straubing (TFZ)	35
	Arbeitspaket 3: Untersuchung der Wertigkeit der selektierten Kombinationen für Bienen und andere Insekten in zweijährigen, großflächigen Versuchen	40
	Flugzeltversuche	40
	Großparzellenversuche	42
	Arbeitspaket 4: Phänotypisierung des Sorghum-Pflanzenmaterials auf für Gemenge- bzw. Untersaat-Kompatibilität wichtige Merkmale	46
	Arbeitspaket 5: Untersuchungen zur genetischen Determination der Zielmerkmale für Untersaatkompatibilität	54
	Arbeitspaket 6: Phänotypisierung der Mischungspartner und Untersaaten auf Beschattungstoleranz	56
	Arbeitspaket 7: Demonstrationsvorhaben in Kooperation mit Praxisbetrieben	65
2.	Verwertung	66
a)	Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen	66
b)	Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende	66
c)	Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende	66
d)	Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit	66
3.	Erkenntnisse von Dritten	67
4.	Veröffentlichungen	68

Teilvorhaben 1: Untersuchungen zur Variation und genetischen Determination von für Untersaat-Kompatibilität wichtigen Pflanzenarchitekturmerkmalen bei Sorghum (2219NR192) 69

1. Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens 69
2. Bearbeitete Arbeitspakete 69
 - Arbeitspaket 1: Prüfung einer großen Anzahl Gemenge und Untersaaten in Sorghum Dualtyp-Hybriden auf Wert für Insekten und Praxistauglichkeit 69
 - JLU beteiligte sich mit der Durchführung und Auswertung der Versuche an den Standorten Groß-Gerau und Rauschholzhausen 69
 - Arbeitspaket 2: Optimierung selektierter Kombinationen hinsichtlich pflanzenbaulicher Aspekte und Sortenwahl 69
 - Arbeitspaket 3: Untersuchung der Wertigkeit der selektierten Kombinationen für Bienen und andere Insekten in zweijährigen, großflächigen Versuchen 69
 - Arbeitspaket 4: Phänotypisierung des Sorghum-Pflanzenmaterials auf für Gemenge bzw. Untersaat-Kompatibilität wichtige Merkmale 69
 - Arbeitspaket 5: Untersuchungen zur genetischen Determination der Zielmerkmale für Untersaatkompatibilität 69
3. Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens 70

Teilvorhaben 2: Untersuchungen zur Wertigkeit der Sorghum-Blühpflanzengemenge für Bienen (2219NR452) 71

1. Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens 71
2. Bearbeitete Arbeitspakete 71
 - Arbeitspaket 1: Prüfung einer großen Anzahl Gemenge und Untersaaten in Sorghum Dualtyp-Hybriden auf Wert für Insekten und Praxistauglichkeit 71
 - Arbeitspaket 2: Optimierung selektierter Kombinationen hinsichtlich pflanzenbaulicher Aspekte und Sortenwahl 71
 - Arbeitspaket 3: Untersuchung der Wertigkeit der selektierten Kombinationen für Bienen und andere Insekten in zweijährigen, großflächigen Versuchen 71
 - Arbeitspaket 7: Demonstrationsvorhaben in Kooperation mit Praxisbetrieben 71
 - Arbeitspaket 8: Datenauswertung, Interpretation und Publikation 71
3. Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens 71

Teilvorhaben 3: Produktionstechnik und Gewässerschutzpotenzial von Untersaaten und Misanbau mit Sorghum Dualtyp-Hybriden (2219NR445) 73

1. Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens 73
2. Bearbeitete Arbeitspakete 73
 - Arbeitspaket 1: Test verschiedener Sorghum-Gemenge und Untersaaten auf ihre agronomische Leistungsfähigkeit 73
 - Arbeitspaket 2: Optimierung geeigneter Sorghum-Mischungen hinsichtlich pflanzenbaulicher Aspekte und Sortenwahl 73
 - Arbeitspaket 7: Demonstrationsvorhaben in Kooperation mit Praxisbetrieben 73
 - Arbeitspaket 8: Datenauswertung, Interpretation und Publikation 73
3. Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens 73

Teilvorhaben 4: Produktionstechnik und Gewässerschutzpotenzial von Untersaaten und Misanbau mit Sorghum Dualtyp-Hybriden (2219NR445) 75

- Arbeitspaket 1: Test verschiedener Sorghum-Gemenge und Untersaaten auf ihre agronomische Leistungsfähigkeit 75
- Arbeitspaket 2: Optimierung geeigneter Sorghum-Mischungen hinsichtlich pflanzenbaulicher Aspekte und Sortenwahl 75

Arbeitspaket 6: Phänotypisierung der Mischungspartner und Untersaaten auf Beschattungstoleranz	75
Arbeitspaket 8: Datenauswertung, Interpretation und Publikation.....	75
3) Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens.....	75

I. Kurzbericht

1. Aufgabenstellung

Viele Ursachen des Insektenschwunds werden diskutiert, ein Mitverursacher ist die Intensivierung der Agrarproduktion, die zu einem Mangel an blühenden Pflanzen in der Agrarlandschaft führt. Deshalb soll im Vorhaben SoBinEn die Kombination von *Sorghum bicolor* Dualtyp-Hybriden mit insektenfreundlichen Gemengen und Untersaaten geprüft werden. Hierdurch kann das Blühfenster deutlich verlängert werden. Für Bienen und andere Bestäuber kann dadurch zusätzlich zum als Proteinquelle fungierenden Sorghumpollen auch wertvoller Nektar bereitgestellt werden. Die Mischungen werden die ökologische Wertigkeit von Bioenergie-Fruchtfolgen hinsichtlich Diversität, Erosionsschutz, Verringerung der NitratAuswaschung im Winter (bei Fortführung der Untersaat) und Humusbilanz verbessern. Synergie-Effekte des Misanbaus, wie z. B. eine verbesserte Bestäubungsleistung an Sorghum durch von der Untersaat zusätzlich angelockte Bienen, tragen zusätzlich zu einer Ertragsstabilisierung unter wechselnden Umweltbedingungen bei.

Sorghum ist dank seiner Trockentoleranz, Nährstoffeffizienz und *Diabrotica*-Resistenz eine vielversprechende Alternative zu Mais. Die frühreifen und rispenbetonten Sorghum Dualtyp-Hybriden sind dabei aufgrund ihrer verbesserten agronomischen und stofflichen Eigenschaften für einen nachhaltigen Energiepflanzenanbau besonders geeignet. Ihre geringe Höhe, verbesserte Standfestigkeit, Abreife und Energiedichte ermöglichen eine einfachere Ernte und eine bessere Transport- und Silierfähigkeit.

Zusammen mit langblühenden Untersaaten können bienen- und insektenfreundliche Bioenergie-Fruchtfolgen entwickelt werden, die Erosions- und Grundwasserschutz, eine Verbesserung der Humusbilanz und Belebung des Landschaftsbilds beinhalten. Der in diesem Vorhaben geplante Ansatz bietet daher die Möglichkeit, die Akzeptanz des Energiepflanzenanbaus bei Landwirten und der Gesellschaft insgesamt nachhaltig zu verbessern.

2. Planung und Ablauf des Vorhabens

Zu Beginn des Projekts sollen möglichst viele Gemenge und Untersaaten an mehreren repräsentativen Standorten (Straubing, Groß-Gerau, Rauschholzhausen, Ven Zelderheide) auf ihre Eignung im Misanbau mit Sorghum-Dualtypen untersucht werden. Entscheidende Parameter sind dabei neben dem Ertragspotenzial vor allem Attraktivität für Insekten und praktische Durchführbarkeit. Ab dem 2. Projektjahr wird die Anzahl der Gemengepartner auf die erfolgreichsten reduziert. Diese als aussichtsreich erachteten Mischungen sollen dann in produktionstechnischen Versuchen hinsichtlich pflanzenbaulicher Parameter wie Saatstärken, Aussatterminen und Saattechniken optimiert werden. Zudem soll ihre Wertigkeit für Bienen und andere Insekten in umfangreichen Versuchen untersucht werden. Im letzten Projektjahr ist ein Demonstrationanbau auf landwirtschaftlichen Betrieben geplant, welcher ein wertvolles erstes Feedback zur Praxistauglichkeit liefern wird.

Ein wichtiger Aspekt des Misanbaus ist, dass hierfür sowohl bei Sorghum als auch bei den Gemengepartnern andere Selektionskriterien als bei einem Anbau in Monokultur zu berücksichtigen sind. JLU wird daher in einem "Proof-of-Concept" Versuch untersuchen, welche Sorghum-Pflanzenarchitektur für die "Untersaaten-Kompatibilität" förderlich ist. Die Merkmale Blattstellung und Wurzelwinkel, für die ein entscheidender Einfluss erwartet wird, sollen dabei an einer größeren Anzahl Sorghum-Genotypen erfasst werden. Letztlich soll damit die genetische Determination dieser Zielmerkmale untersucht werden (QTL-Analyse). Gleichzeitig werden seitens DSV besonders schattentolerante Zuchtstämme verschiedener Untersaaten selektiert.

3. Resümee der wesentlichen Ergebnisse

a) Arbeitspakete und Meilensteine

Arbeitspakete (AP) (lt. Planung im Antrag)	Bearbeitungszeitraum (lt. Balkenplan im Antrag)	Zielerreichung
AP 1 Prüfung einer großen Anzahl Gemenge und Untersaaten in Sorghum Dualtyp-Hybriden auf Wert für Insekten und Praxistauglichkeit	04/2020 bis 12/2020	Dieser Meilenstein wurde nicht 2020 beendet, sondern mit etwas abgeänderten Varianten als „Kernversuch“ des Projekts auch in 2021 und 2022 mehrortig durchgeführt.
AP 2 Optimierung selektierter Kombinationen hinsichtlich pflanzenbaulicher Aspekte	04/2020 bis 12/2022	Dieser Meilenstein wurde 2022 abgeschlossen

Arbeitspakete (AP) (lt. Planung im Antrag)	Bearbeitungszeitraum (lt. Balkenplan im Antrag)	Zielerreichung
und Sortenwahl		
AP 3 Untersuchung der Wertigkeit der selektierten Kombinationen für Bienen und andere Insekten in zweijährigen, großflächigen Versuchen	04/2021 bis 12/2022	Dieser Meilenstein wurde 2022 abgeschlossen.
AP 4 Phänotypisierung des Sorghum-Pflanzenmaterials auf für Gemenge bzw. Untersaat-Kompatibilität wichtige Merkmale	04/2020 bis 12/2022	Dieser Meilenstein konnte nicht in der geplanten Laufzeit abgeschlossen werden, da aufgrund von Wetterextremen mehrere Feldversuche nicht auswertbar waren. Dank der kostenneutralen Projektverlängerung für das Teilvorhaben 1 wurden daher in 2023 Versuche wiederholt, wodurch ein zufriedenstellender Abschluss ermöglicht wurde.
AP 5 Untersuchungen zur genetischen Determination der Zielmerkmale für Untersaatkompatibilität	01/2021 bis 04/2023	Dieser Meilenstein konnte aufgrund eines unvollständigen Datenumfanges der Phänotypisierung (siehe AP 4) noch nicht während der ursprünglich geplanten Laufzeit abgeschlossen werden. Durch die in 2023 zusätzlich erzielten Phänotyp-Daten wurde glücklicherweise ein Abschluss im Rahmen der kostenneutralen Verlängerung von Teilvorhaben 1 möglich.
AP 6 Phänotypisierung der Mischungspartner und Untersaaten auf Beschattungstoleranz	04/2020 bis 12/2022	Dieser Meilenstein wurde 2022 abgeschlossen.
AP 7 Demonstrationsvorhaben in Kooperation mit Praxisbetrieben	10/2021 bis 04/2023	Dieser Meilenstein wurde wie geplant mit der Auswertung des Demonstrationsbaus der Saison 2022 abgeschlossen. Es sei jedoch betont, dass es sich aufgrund der limitierten Datengrundlage (nur eine Vegetationsperiode, welche extrem trocken war) nur um eine erste Einschätzung handeln kann, welche in zukünftigen Projekten fortgeführt werden sollte.
AP 8 Datenauswertung, Interpretation und Publikation	01/2021 bis 04/2023	Aufgrund der noch fehlenden Daten für AP 4 und AP 5 wurde dieser Meilenstein letztlich im Rahmen der kostenneutralen Verlängerung von Teilvorhaben 1 abgeschlossen. Wissenschaftliche Publikationen des Partners JLU befinden sich aktuell in Vorbereitung.

b) Zusammenfassung

Die Versuche der Teilvorhaben 2, 3 und 4 wurden wie geplant während der Projektlaufzeit abgeschlossen. Vor allem die Vegetationsperioden der Jahre 2021 (kühl-nass) und 2022 (trocken-heiß) kontrastierten stark, was für die Auswertung der Versuche als vorteilhaft zu sehen ist. Da der Demonstrationsanbau (AP 7) nur im trocken-heißen Jahr 2022 erfolgte, kann es sich hierbei nur um eine erste Einschätzung handeln, welche im Rahmen von möglichen Folgeprojekten validiert werden sollte. Aufgrund schlechten Aufgangs bei extremer Trockenheit waren die Feldversuche von AP 4 (Phänotypisierung des Sorghum-Pflanzenmaterials auf für Gemenge bzw. Untersaat-Kompatibilität wichtige Merkmale) in 2022 nicht auswertbar. Hierdurch verschob sich auch der Abschluss der darauf aufbauenden AP 5 und 8, und des gesamten Teilvorhabens 1, über das Ende der ursprünglich geplanten Projektlaufzeit (04/2023) hinaus. Im Rahmen der kostenneutralen Verlängerung des Teilvorhabens 1 konnten die o. g. Arbeitspakete aber glücklicherweise durch eine Wiederholung der Versuche in 2023 erfolgreich abgeschlossen werden.

II. Ausführliche Darstellung der Ergebnisse

1. Erzielte Ergebnisse

Arbeitspaket 1: Prüfung einer großen Anzahl Gemenge und Untersaaten in Sorghum Duality-Hybriden auf Wert für Insekten und Praxistauglichkeit

Dieses Arbeitspaket wurde nicht wie laut ursprünglicher Planung vorgesehen nach dem 1. Projektjahr 2020 beendet, sondern als „Kernversuch“ des Verbundvorhabens mit teilweise modifizierten Faktoren und Varianten auch in 2021 und 2022 mehrortig durchgeführt. Nur durch diese mehrortige und -jährige Anlage lassen sich belastbare Aussagen zur Eignung verschiedener Untersaaten für den Mischanbau mit Sorghum treffen, wobei eindeutig ungeeignete Varianten bereits nach dem 1. Prüfljahr verworfen wurden.

Darstellung der Ergebnisse aus 2020

Als Screening bzw. Vorselektion im 1. Projektjahr 2020 wurde eine große Anzahl von Sorghum-Gemengen in einem mehrfaktoriellen Parzellen-Versuch auf agronomische Leistungsfähigkeit und Wertigkeit für Insekten geprüft. Folgende Faktoren waren Teil des „Kernversuchs“ 2020:

- Standort (4):
Ven Zelderheide (Niederlande, DSV), Rauschholzhausen (Mittelhessen, JLU), Groß-Gerau (Südhessen, JLU), Straubing (Niederbayern, TFZ)
- Sorghumhybride (2):
Vilomene (STH 15123) und Voyenn (STH18119), welche 2021 durch das Bundessortenamt in Deutschland als Dualtypen zugelassen wurden.
- - Sorghumbestandesdichte (2):
normal (25 Pflanzen/m²) vs. reduziert (15 Pflanzen/m²)
- Untersaat bzw. Gemenge-Art:

Folgende Arten wurden auf Tauglichkeit für den Mischanbau mit Sorghum untersucht. Je nach Art wurden 1-2 Sorten oder Zuchtstämme verwendet. Für jede Sorghumhybride und Bestandesdichte wurde zusätzlich auch eine "0-Kontrolle" ohne Untersaat angelegt.

- Gewöhnlicher Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*, Fse)
- Tatarischer Buchweizen (*Fagopyrum tataricum*, Fta)
- Sonnenblume (*Helianthus annuus*, Ha)
- Sommerwicke (*Vicia sativa*, Vs)
- Weißer Senf (*Sinapis alba*, Sal)
- Leindotter (*Camelia sativa*, Cs)
- Perserklee (*Trifolium resupinatum*, Trr)
- Weißklee (*Trifolium repens*, Tr)
- Gelber Steinklee (*Melilotus officinalis*, Mel)
- Rotklee (*Trifolium pratense*, Tp)
- Schwedenklee (*Trifolium hybridum*, Thy)
- Inkarnatklee (*Trifolium incarnatum*, Ti)
- Alexandrinerklee (*Trifolium alexandrinum*, Ta)
- Luzerne (*Medicago sativa*, Msa)
- Phacelia (*Phacelia tanacetifolia*, Pht)
- Örettich (*Raphanus sativus*, Rs)
- Stangenbohnen (*Phaseolus vulgaris*, Phv)
- Winterackerbohne (*Vicia faba*)
- Helmbohne (*Lablab purpureus*, Lab)
- DSV TerraLife
- Esparsette (*Onobrychis viciifolia*, Ovi)

Versuchsbeobachtungen

Die einzelnen Standorte unterschieden sich wie erwartet deutlich in ihren Bedingungen. Am trockenwarmen Standort Groß-Gerau, wo der Versuch auf Sandboden (ca. 25 Bodenpunkte) angelegt wurde, entwickelte sich Sorghum sehr gut und schnell und wurde nur in wenigen Fällen von den Gemengepartnern deutlich unterdrückt. Mit Ausnahme des Gelben Steinklees zeigten alle Kleearten bereits in der Anfangszeit deutliche Probleme (schwache Etablierung und Bodenbedeckung). Trockenstress konnte bei zahlreichen Gemengepartnern, wie z. B. auch den hier verwendeten Stangenbohnen, beobachtet werden. Auffällig trocken tolerant zeigte sich hingegen die Helmbohne. Bereits Mitte September konnte der Versuch problemlos bei hohen Trockensubstanzgehalten geerntet werden.

In Rauschholzhausen, wo der Versuch auf einem Schlag mit sehr hoher Bodengüte (Löss, ca. 85 Bodenpunkte) stand, konnten sich fast alle Untersaaten gut bis sehr gut etablieren. Hier war umgekehrt der Sorghum bei kühleren Bedingungen in zahlreichen Kombinationen deutlich sichtbaren Konkurrenzeffekten ausgesetzt. Blühreichtum und Blühdauer der Untersaaten waren deutlich stärker bzw. länger als in Groß-Gerau. Trockenstress trat dank der hohen Bodengüte trotz einer längeren Trockenphase im Hochsommer nicht auf. Die Ernte des Versuchs in der 1. Oktoberdekade wurde durch unbeständiges Wetter erschwert. Einige massewüchsige Gemengepartner, wie Sonnenblumen, Tatarischer Buchweizen und Ölrettich, waren aufgrund ihres hohen Feuchtegehalts mit dem Maishäcksler kaum zu ernten.

In Ven Zelderheide wurde der Versuch auf einem leichten Boden angelegt und entwickelte sich hinsichtlich beider Komponenten (Sorghum und Untersaaten) sehr gut. Einige Gemengepartner zeigten auch hier eine deutliche Unterdrückung des Sorghum. Die Ernte verlief für alle Kombinationen problemlos und konnte Ende September bei ausreichend hohen Trockensubstanz-Gehalten stattfinden.

Der Versuch in Straubing wurde auf einem Lehmboden hoher Güte (ca. 80 Bodenpunkte) in einem Wasserschutzgebiet angelegt. Dies schloss den Einsatz von Herbiziden im Voraufbau aus. Aufgrund kühl-feuchter Bedingungen nach der Aussaat war der Aufgang von Sorghum in vielen Parzellen leider nicht zufriedenstellend, und die Unkrautentwicklung gestaltete sich aufgrund der fehlenden Beschattung sehr problematisch. Aus diesem Grund konnte ein Teil der Parzellen des 1-jährigen Versuchs nicht ausgewertet werden. Auch an den anderen Standorten war die Unkrautbekämpfung eine Herausforderung und erforderte teilweise mehrfaches manuelles Hacken, besonders bei Untersaaten mit schwacher anfänglicher Bodenbedeckung.

Bereits durch visuelle Bonituren konnten- wie zu erwarten- zahlreiche Gemengepartner aufgrund zu aggressiven Verhaltens gegenüber Sorghum als prinzipiell problematisch eingestuft werden. Dies betrifft vor allem Gewöhnlichen Buchweizen, Tatarischen Buchweizen, die in 2020 verwendeten Sonnenblumen-Sorten, Weißen Senf, Leindotter, Gelben Steinklee, Phacelia und Ölrettich. Aus agronomischer Sicht generell vielversprechend zeigten sich Kombinationen mit Perserklee, Weißklee, Schwedenklee, Alexandrinerklee, Luzerne, Stangen- und Helmbohnen. Rotklee und Inkarnatklee zeigten im Mischanbau starken Mehltau und erscheinen daher weniger geeignet. Luzerne und Helmbohne erwiesen sich auch unter starkem Trockenstress am Standort Groß-Gerau als sehr ausdauernd.



Abb. 1: Ansicht des Kernversuchs 2020 in Rauschholzhausen

Versuchsergebnisse- und Auswertung

Alle Faktoren des Versuchs (Standort, Sorghumhybride, Sorghumdichte und Untersaat) zeigten signifikante Effekte auf Ertrag und Trockensubstanzgehalt (Tab. 1). Signifikante Interaktionen für Ertrag traten nur zwischen Ort und Untersaat auf.

Tab. 1: Varianzen der Faktoren Standort, Sorghumhybride, Sorghum-Bestandesdichte, Untersaat und ihre Interaktionen.

Quelle		df	Mittel der Quadrate	Sig.
Ort	TS (%)	2	4620,673	0,000
	TM-Ertrag t/ha	2	172,926	0,000
Sorghumhybride	TS (%)	1	216,975	0,000
	TM-Ertrag t/ha	1	192,752	0,000
DichteSorghum	TS (%)	1	22,481	0,016
	TM-Ertrag t/ha	1	189,978	0,000
Untersaat	TS (%)	35	54,161	0,000
	TM-Ertrag t/ha	35	96,412	0,000
Ort * Sorghumhybride	TS (%)	2	64,638	0,000
	TM-Ertrag t/ha	2	8,187	0,117
Ort * DichteSorghum	TS (%)	2	48,922	0,000
	TM-Ertrag t/ha	2	0,459	0,886
Ort * Untersaat	TS (%)	59	19,979	0,000
	TM-Ertrag t/ha	59	14,819	0,000
Sorghumhybride * DichteSorghum	TS (%)	1	2,595	0,414
	TM-Ertrag t/ha	1	0,744	0,658
Sorghumhybride * Untersaat	TS (%)	35	4,399	0,278
	TM-Ertrag t/ha	35	2,331	0,961
DichteSorghum * Untersaat	TS (%)	35	6,179	0,019
	TM-Ertrag t/ha	35	3,958	0,408
Fehler	TS (%)	403	3,873	
	TM-Ertrag t/ha	403	3,800	

Das Ertragsniveau der Standorte war relativ ähnlich, dennoch konnte für Rauschholzhausen ein im Mittel signifikant niedrigerer Ertrag als für Groß-Gerau und Ven Zelderheide festgestellt werden. Die Trockensubstanzgehalte waren in Rauschholzhausen deutlich niedriger als in Groß-Gerau und Ven Zelderheide.

Die höhere Sorghumbestandesdichte führte an allen Standorten zu einem höheren Ertrag, wobei die Unterschiede am Trockenstandort Groß-Gerau mit 6% niedriger als an den Standorten Ven Zelderheide (9%) und Rauschholzhausen (12%) waren. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass die tatsächlichen Bestandesdichten niedriger als die angestrebten 25 und 15 Pflanzen/m² lagen.

Von den zwei hier getesteten Sorghumhybriden zeigte *Voyenn* an allen Standorten einen höheren Ertrag als *Vilomene*, sowohl in den verschiedenen Untersaat-Kombinationen, als auch in der "0-Kontrolle" ohne Untersaat. Eine Interaktion Sorghumhybride * Untersaat ergab sich nicht.

Den höchsten Ertrag, sowohl im Standortmittel, als auch bei Einzelbetrachtung der Standorte, erzielte die "0-Kontrolle" Sorghum (Abb. 2). Nichtsdestotrotz unterschieden sich 10 Sorghum-Untersaatkombinationen statistisch (Student-Newman-Keuls Posthoc-Test, alpha=5%, zusammenfassende Betrachtung der Faktoren Ort, Sorghumhybride, Sorghumbestandesdichte) nicht von der "0-Kontrolle". Dabei handelte es sich um Saatwicke Sorte 1, Saatwicke Sorte 2 (beide allerdings mit schwachem Aufgang), Weißklee Sorte 1, Alexandrinerklee Sorte 1, Schwedenklee Sorte 2, Weißklee Sorte 2, Alexandrinerklee Sorte 2, Schwedenklee Sorte 1, Esparsette und Stangenbohne Sorte 2. Bei einer Einzelbetrachtung der Kombinationen unter zusätzlicher Auftrennung nach den Faktoren Sorghumhybride und -Bestandesdichte ergaben sich- wie aufgrund der geringen Faktor-Interaktionen zu erwarten- davon keine wesentlichen Abweichungen.

Hinsichtlich ihres Trockensubstanz-Gehaltes unterschieden sich die meisten Gemenge nur unwesentlich und statistisch nicht signifikant von der "0-Kontrolle" Sorghum (Abb. 3). Dies deckt sich mit der Versuchsbeobachtung, dass der Blühbeginn bei Sorghum von den Untersaaten kaum beeinflusst wurde, und lediglich in Kombinationen mit starker Unterdrückung des Sorghum (z. B. Sonnenblumen, Phacelia, Buchweizen) eine relevante Blühverzögerung auftrat. Einige Kombinationen wie Luzerne, Stangenbohnen und Rotklee zeigten im Vergleich zur 0-Kontrolle eine leichte Erhöhung der TS-Gehalte, jedoch waren diese Unterschiede statistisch nicht nachweisbar. Signifikant von der 0-

Kontrolle und allen anderen Kombinationen unterschied sich lediglich die Helmbohne mit deutlich reduzierten TS-Gehalten, was durch den hohen Anteil Blattmasse erklärt werden kann.

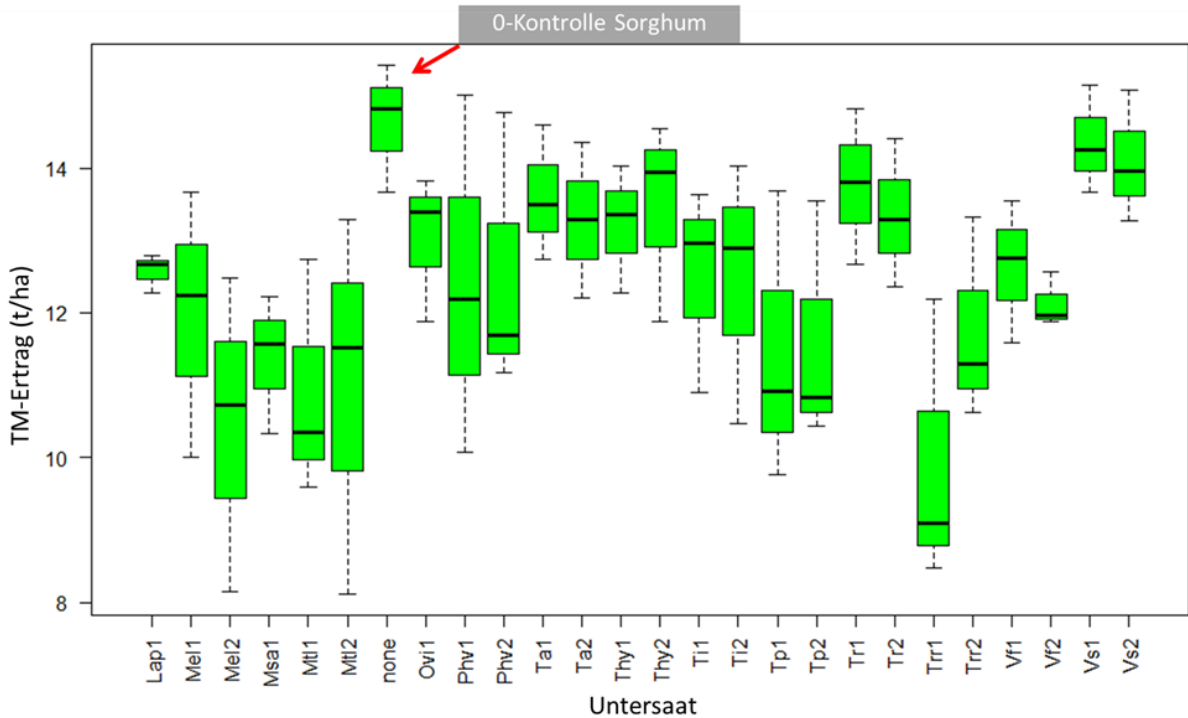


Abb. 2: Boxplot-Darstellung des Trockenmasse-Ertrags der verschiedenen Sorghum-Untersaat Gemenge aus dem Kernversuch 2020 (Mittelwerte aller Kombinationen von Sorghumhybride und -Bestandesdichte mit einer Untersaat je Standort)

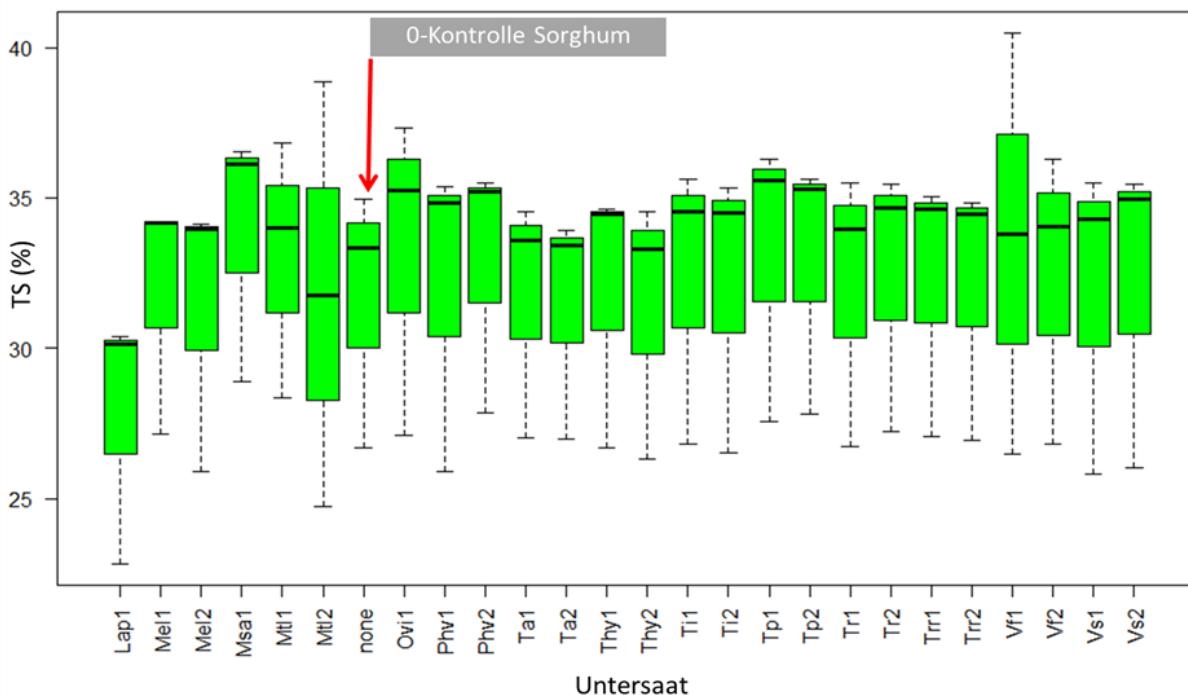


Abb. 3: Boxplot-Darstellung des Trockensubstanz-Gehalts der verschiedenen Sorghum-Untersaat Gemenge (Mittelwerte aller Kombinationen von Sorghumhybride und -Bestandesdichte mit einer Untersaat je Standort)

Darstellung der Ergebnisse aus 2021

Die im großangelegten Screening des Vorjahres 2020 als geeignet selektierten Untersaaten bzw. Gemenge wurden 2021 erneut geprüft, meist mit einer größeren Anzahl Sorten bzw. Zuchtstämme je Art. Wie auch in 2020 wurden die beiden Sorghum-Dualtyp-Hybriden Voyenn und Vilomene

verwendet. Der Faktor Saatstärke wurde in 2020 rausgenommen und der Sorghum einheitlich mit 25 keimfähigen Körnern je qm gesät. Dafür wurde der Faktor Aussaatzeitpunkt Untersaat (gleichzeitig mit Sorghum vs. zeitversetzt) neu aufgenommen.

Insgesamt waren daher folgende Faktoren Teil des Kernversuchs 2021:

- Standort (5):

Ven Zelderheide (Niederlande, DSV), Asendorf (Niedersachsen, DSV), Groß-Gerau (Süd Hessen, JLU), Straubing (Niederbayern, TFZ), Trossin (Nordsachsen, Auftragsarbeit BiochemAgrar GmbH)

- Sorghumhybride (2):

Vilomene und Voyenn (wie 2020)

- Aussaatzeitpunkt Untersaat (2):

Gleichzeitig mit Hauptfrucht Sorghum vs. zeitversetzt/später (zu ca. BBCH 13 des Sorghum)

- Untersaat bzw. Gemenge-Art (mit meist 2 Sorten bzw. Zuchtstämmen je Art, insgesamt 24 Prüfglieder):

- Perserklee (*Trifolium resupinatum*, Trr)
- Schwedenklee (*Trifolium hybridum*, Thy)
- Steinklee (*Melilotus* sp., Mel)
- Alexandrinerklee (*Trifolium alexandrinum*, Ta)
- Hornschotenklee (*Lotus corniculatus*, Lc)
- Luzerne (*Medicago sativa*, Msa)
- Stangenbohnen (*Phaseolus vulgaris*, PhvMix)
- Helmbohne (*Lablab purpureus*, Lap)
- Weiße und blaue Lupine (*Lupinus albus+angustifolius*, LA)
- Phacelia-Mix (PhMix)
- Serradella (*Ornithopus sativus*)
- Esparsette (*Onobrychis viciifolia*, Ovi)
- Sonnenblumen (*Helianthus annuus*, Ha)
- "0-Kontrolle" Sorghum (beide Sorghumhybriden ohne Untersaat)

Versuchsbeobachtung

Mit seinem mäßig warmen, niederschlagsreichen und strahlungsarmen Sommer unterschied sich das Jahr 2021 deutlich von 2020. Dies begünstigte allgemein das Wachstum der Untersaaten, auch an sonst eher trockenen Standorten wie Groß-Gerau und Trossin. An den Standorten Asendorf, Groß-Gerau und Straubing zeigte sich der Versuch bei geringem Unkrautdruck sehr gut gelungen. In Trossin war leider eine Wiederholung sehr stark von Schadhirse befallen, was somit die Auswertbarkeit des Versuchs einschränkte. In Ven Zelderheide litt der Versuch enorm unter den Wetterextremen (schlechter Aufgang aufgrund von Starkniederschlägen nach Aussaat im Mai, anschließende Bodenverhärtung durch plötzlichen Temperaturanstieg und sonnig-heißes Wetter im Juni, extreme Starkniederschläge Mitte Juli) und musste daher leider letztlich aufgegeben werden. Im Gegensatz zu 2020 wurde in 2021 Sorghum in nur einer Bestandesdichte gesät, welche mit dem Soll von ca. 25 Pflanzen/qm annähernd der Ziel-Bestandesdichte in Monokultur entsprach. Während Vilomene dank guter Etablierung diese Soll-Bestandesdichte erreichte, war die tatsächliche Bestandesdichte von Voyenn an den Standorten Groß-Gerau und Trossin geringer und lag dort bei ca. 15 Pflanzen/qm.

In der Variante "spätere Saat der Untersaat" war die Entwicklung der Untersaat wie erwartet allgemein schwächer, vor allem in Kombination mit der höheren Sorghumhybride Vilomene. Bei Kombination von höherem Sorghum mit zeitversetzter Etablierung der Untersaat sollte daher in Zukunft eine reduzierte Sorghum-Bestandesdichte gewählt werden.

Versuchsauswertung

In die folgende Versuchsauswertung wurden nur die drei vollständig auswertbaren Standorte Asendorf, Groß-Gerau und Straubing einbezogen. Bei Auswertung nach einem allg. linearen Modell (GLM) über alle Orte hinweg zeigten alle o. g. fixen Faktoren (Ort, Sorghumhybride, Untersaat und Aussaatzeitpunkt) einen signifikanten Einfluss auf die wichtigsten Zielparameter TM-Ertrag und Trockensubstanzgehalt (Tab. 2). Die spätere Aussaat der Untersaaten führte dabei zu signifikant höheren Erträgen (+ 6,3 %), aber geringeren Trockensubstanzgehalten (-1,4 %). Signifikante Interaktionen ergaben sich weder zwischen Sorghumhybride und Untersaat noch zwischen Untersaat und Aussaatzeitpunkt. Bei einer Einzelbetrachtung der Standorte zeigt sich, dass die höchsten Erträge und TS-Gehalte am Sorghum- Gunststandort Groß-Gerau erzielt wurden, gefolgt von Asendorf und Straubing (Abb. 4). Interessante Ergebnisse liefert auch eine ortsspezifische Varianzanalyse (Tab 3): Ein signifikanter Einfluss der Untersaat-Art auf den Ertrag konnte demnach nur am Standort Groß-Gerau festgestellt werden, während in Straubing und Asendorf die Untersaat keinen statistisch nachweisbaren Einfluss auf den Ertrag zeigte. Demgegenüber war der Ertragsvorteil der zeitversetzten Untersaat ausnahmslos an allen drei Standorten gegeben, während der TS-Gehalt lediglich in Asendorf durch den Saatzeitpunkt beeinflusst wurde. Die Sorghumhybride Vilomene zeigte in Groß-Gerau und Straubing im Mittel aller Kombinationen einen besseren Ertrag als Voyenn, während sich beide Hybriden in Asendorf ertraglich nicht unterschieden. Somit konnte hier beim Vergleich der beiden Sorghumhybriden ein deutlicher Jahreseffekt beobachtet werden, da 2020 Voyenn bessere Erträge brachte.

Tab. 2: Varianzen der fixen Faktoren Standort, Sorghumhybride, Art der Untersaat, Aussaatzeitpunkt Untersaat und ihre Interaktionen im Kernversuch 2021 (Auswertung als allg. lineares Modell)

Quelle		df	Mittel der Quadrate	Sig.
Ort	TS (%)	2	7704,792	0,000
	TM-Ertrag t/ha	2	1156,863	0,000
Sorghumhybride	TS (%)	1	457,331	0,000
	TM-Ertrag t/ha	1	370,700	0,000
Untersaat	TS (%)	23	14,358	0,000
	TM-Ertrag t/ha	23	19,161	0,000
Aussaatzeitpunkt	TS (%)	1	29,081	0,003
	TM-Ertrag t/ha	1	137,046	0,000
Ort * Sorghumhybride	TS (%)	2	58,943	0,000
	TM-Ertrag t/ha	2	101,299	0,000
Ort * Untersaat	TS (%)	46	3,850	0,181
	TM-Ertrag t/ha	46	8,618	0,000
Ort * Aussaatzeitpunkt	TS (%)	2	30,426	0,000
	TM-Ertrag t/ha	2	34,392	0,000
Sorghumhybride * Untersaat	TS (%)	23	3,377	0,391
	TM-Ertrag t/ha	23	2,843	0,486
Sorghumhybride * Aussaatzeitpunkt	TS (%)	1	3,162	0,320
	TM-Ertrag t/ha	1	4,087	0,235
Untersaat * Aussaatzeitpunkt	TS (%)	23	2,804	0,627
	TM-Ertrag t/ha	23	4,119	0,097
Fehler	TS (%)	292	3,189	
	TM-Ertrag t/ha	292	2,890	

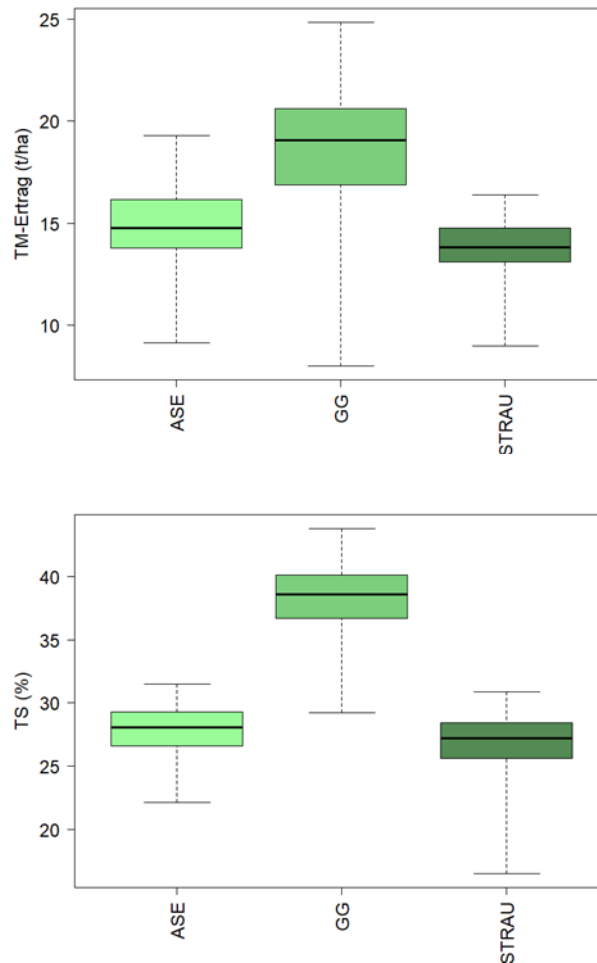


Abb. 4: Boxplot-Darstellung zur Verteilung von Trockenmasse-Ertrag (links) und Trockensubstanzgehalt (rechts) an den einzelnen Standorten Asendorf, Groß-Gerau und Straubing

Tab. 3: Ortsspezifische Varianzanalyse mit den fixen Faktoren Sorghumhybride, Aussaatzeitpunkt und Art der Untersaat, Kernversuch 2021

		Asendorf			Straubing			Groß-Gerau		
Quelle		df	Mittel der Quadrate	Sig.	df	Mittel der Quadrate	Sig.	df	Mittel der Quadrate	Sig.
Sorghumhybride	TS (%)	1	270,275	0,000	1	295,751	0,000	1	11,967	0,101
	TM-Ertrag t/ha	1	0,711	0,654	1	133,430	0,000	1	437,753	0,000
Aussaatzeitpunkt	TS (%)	1	89,653	0,000	1	0,129	0,855	1	0,050	0,915
	TM-Ertrag t/ha	1	16,415	0,033	1	7,493	0,006	1	180,730	0,000
Untersaat	TS (%)	23	4,645	0,000	23	4,314	0,343	23	13,112	0,000
	TM-Ertrag t/ha	23	5,702	0,055	23	1,328	0,140	23	29,208	0,000
Sorghumhybride * Aussaatzeitpunkt	TS (%)	1	1,021	0,381	1	0,803	0,650	1	10,151	0,130
	TM-Ertrag t/ha	1	0,001	0,985	1	0,062	0,801	1	13,673	0,077
Sorghumhybride * Untersaat	TS (%)	23	2,078	0,065	23	3,587	0,563	23	3,048	0,835
	TM-Ertrag t/ha	23	2,498	0,825	23	1,229	0,202	23	3,199	0,782
Aussaatzeitpunkt * Untersaat	TS (%)	23	2,741	0,007	23	2,616	0,858	23	5,832	0,164
	TM-Ertrag t/ha	23	3,730	0,404	23	1,244	0,192	23	6,357	0,093
Fehler	TS (%)	96	1,316		100	3,868		96	4,354	
	TM-Ertrag t/ha	96	3,520		100	0,961		96	4,269	

Bei einer Detailbetrachtung zum Einfluss der Untersaat auf den Ertrag zeigt sich bei den meisten Sorghum/Untersaat-Kombinationen kein statistischer Unterschied zur "0-Kontrolle" Sorghum (ohne Untersaat). Bei zeitversetzter Untersaat ergaben sich lediglich bei Sonnenblumen negative

Ertragseffekte, während bei gleichzeitiger Untersaat zusätzlich Phacelia und Steinklee zu einer Ertragsreduktion führten (Abb. 5).

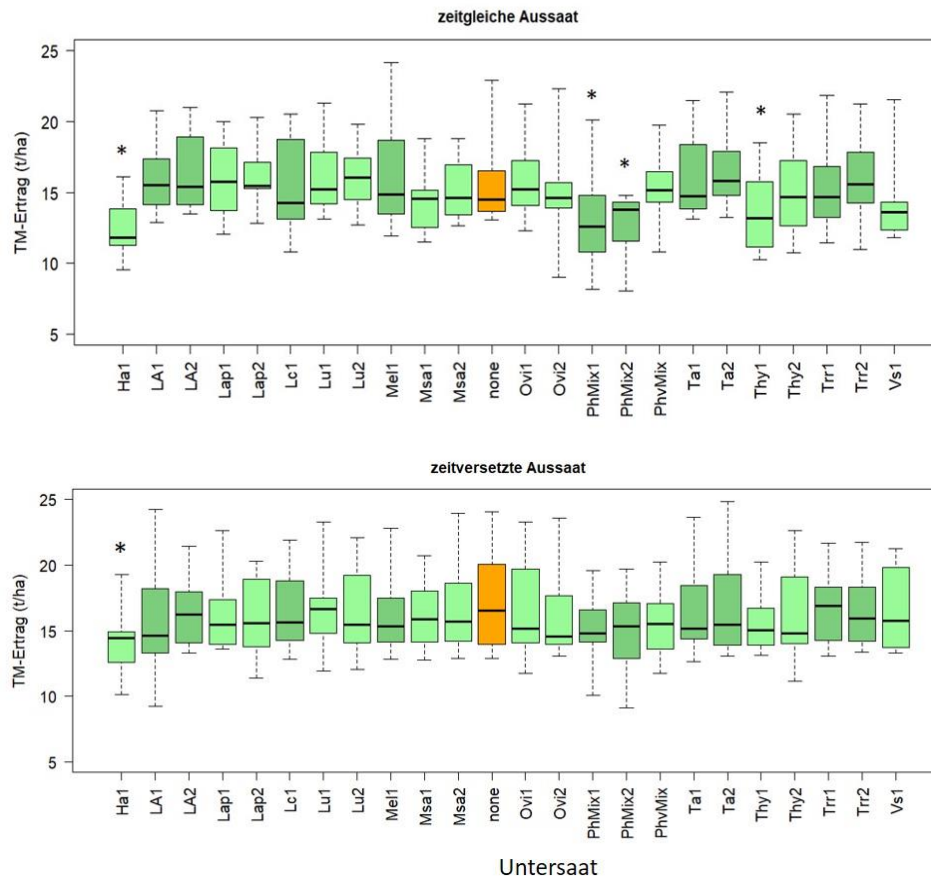


Abb. 5: Boxplot-Darstellung des Trockenmasse-Ertrags der verschiedenen Sorghum-Untersaat Gemenge, getrennt nach zeitgleicher und zeitversetzter/späterer Aussaat der Untersaaten (Mittelwerte aller Kombinationen beider Sorghumhybriden mit einer Untersaat). "none"=Kontrolle Sorghum ohne Untersaaten, Abkürzungen Untersaaten siehe S. 4. *: statistisch bei einem Signifikanzniveau von $\alpha=0,05$ von der Kontrolle Sorghum ohne Untersaaten unterscheidbar

Vergleich der Jahre 2020 und 2021

Verglichen mit dem 1. Screening im Jahr 2020 war der (negative) Einfluss der Untersaaten auf den Ertrag im oben dargestellten Versuch wesentlich geringer. Die meisten Sorghum/Untersaat-Kombinationen unterschieden sich 2021 statistisch nicht von der Sorghum 0-Kontrolle. Das Gemenge Sorghum/Alexandrinerklee erbrachte im Durchschnitt tendenziell sogar leicht höhere Erträge als die Sorghum-Monokultur, was statistisch allerdings nicht nachweisbar war. Die Gründe für diese geringen Untersaat-Effekte in 2021 liegen einerseits am Weglassen eines breiten Spektrums von in 2020 als zu aggressiv identifizierten Untersaaten, wie z. B. Buchweizen, Ölrettich und Weißem Senf. Andererseits war durch die hohen Niederschläge im Sommer 2021 die Wasser Konkurrenz zwischen der Hauptfrucht Sorghum und den Untersaaten wesentlich schwächer ausgeprägt als im trockenen Sommer 2020. Dazu passt, dass ein signifikanter Ertragseffekt der Untersaaten 2021 lediglich am Standort Groß-Gerau gegeben war. Dieser zeichnete sich auch in 2021 durch zumindest zeitweilige Trockenphasen aus, und der dortige Sandboden bedingte vermutlich auch Nährstoffkonkurrenz. Demgegenüber hatte an den Standorten Asendorf und Straubing, welche sich durch bessere Böden und eine kontinuierlich gute Wasserversorgung auszeichneten, die Art der Untersaat keinerlei Einfluss auf den Ertrag.

Basierend auf den entscheidenden Kriterien Ertrag, Ertragsstabilität (zwischen Orten und den Jahren 2020 und 2021), Bodenbedeckung und Blühreichtum erscheinen folgende Untersaaten für den Mischanbau mit Sorghum geeignet:

- Alexandrinerklee
- Perserklee
- Schwedenklee
- Serradella

- Luzerne
- Weiße Lupine
- Spitzwegerich (basierend auf dem Eindruck eines kleinen Beobachtungsanbaus 2021)
- Lablab-Bohne (die Identifikation von blühfähigen Sorten wurde 2022/23 durchgeführt, s.u.)
- Mischungen mit geringem Phacelia-Anteil

Darstellung der Ergebnisse 2022

Auch in 2022 wurde der Kernversuch in Ven Zelderheide, Asendorf, Groß-Gerau, Straubing und Trossin mit den beiden Sorghumsorten *Voyenn* und *Vilomene* angelegt (keine Änderung zu 2021). Die Ziel-Bestandesdichte wurde auf ca. 15 Pflanzen/qm ausgelegt, um eine ausreichende Entwicklung und Blüte der Untersaaten zu ermöglichen. Im Gegensatz zu 2021 wurde ausschließlich eine zeitversetzte Aussaat der Untersaat (zu ca. BBCH 13 des Sorghum) durchgeführt, um durch vorheriges Hacken eine bessere Unkrautkontrolle zu ermöglichen. Basierend auf den Ergebnissen aus 2020 und 2021 wurden Alexandrinerklee, Perserklee, Schwedenklee, Serradella, Luzerne, Spitzwegerich, Weiße Lupine, Lablab und Mischungen mit geringem Phacelia-Anteil ausgewählt, welche dann in jeweils mehreren Zuchtstämmen und in verschiedenen Mischungen angebaut wurden. Insgesamt ergaben sich dadurch n=49 verschiedene Untersaat-Varianten.

Bereits das späte Frühjahr war von überdurchschnittlich warmen Temperaturen und trockener Witterung geprägt. Der Sorghum zeigte unter diesen Bedingungen an allen Standorten einen guten Auflauf und eine zügige Jugendentwicklung mit schnellem Reihenschluss. Zum Aussaatzeitpunkt der Untersaaten zu BBCH 13 des Sorghum herrschten an allen Standorten trockene Bedingungen, was zu einem verzögerten und insgesamt schwachen Auflauf führte. Aufgrund der schnellen Entwicklung des Sorghum und der damit verbundenen Beschattung und auch Wasser Konkurrenz konnte sich an keinem der o. g. Standorte ein nur annähernd gelungener Bestand der Untersaaten etablieren. Aus diesem Grund wurde von einer Beerntung und Auswertung des Kernversuchs 2022 abgesehen, da die Parzellen faktisch nur aus Sorghum bestanden.

Abschließende Bewertung und Fazit

Die Vorteile hinsichtlich Ertrag und besserer Unkrautbekämpfung (durch Hacken) einer verspäteten Aussaat der Gemengepartner stehen leider im Zielkonflikt zu deren Entwicklungspotenzial und Blühreichtum. Wie der Versuchsverlauf 2022 zeigte, ist auch ein komplettes Ausbleiben der Untersaat bei zeitversetzter Saat nicht unwahrscheinlich. Ebenso zeigt eine höhere bzw. normale Sorghum-Bestandesdichte i. d. R. Ertragsvorteile (Ergebnisse aus 2020) gegenüber einer reduzierten Bestandesdichte, während für die Entwicklung der Untersaaten eine reduzierte Sorghum-Bestandesdichte vorteilhafter ist. Möglicherweise kann der letztere Zielkonflikt durch erektophile Sorghumgenotypen, welche aufgrund aufrechter Blatt- und Wurzelarchitektur eine geringere Bodenbeschattung und möglicherweise auch einen geringeren oberflächennahen Wasserentzug aufweisen, entschärft werden. Die in unserer Versuchsserie erzielten Ergebnisse einer stärkeren Ertragsreduktion des Mischanbaus bei Wasserknappheit widersprechen der in der wissenschaftlichen Literatur postulierten *stress-gradient* Hypothese, sind aus Sicht der Autoren aber nicht unerwartet. Für die landwirtschaftliche Praxis sind nur solche Mischungen akzeptabel, die auch unter Stressbedingungen einen allenfalls leichten Ertragsrückgang im Vergleich zur Sorghum-Monokultur zeigen.

Durch die hier dargestellte Versuchsserie konnte eine gute Datengrundlage zur Auswahl potenziell geeigneter Arten für den Sorghum-Mischanbau geschaffen werden. Die Optimierung dieser Mischungen hinsichtlich Anbautechnik, Sortenzusammensetzung, Aussaatstärken etc. bedarf allerdings weiterer intensiver Forschungen, so dass aktuell noch nicht von einer Praxisreife gesprochen werden kann.

Zweijähriger Kernversuch

Der **Zweijährige Kernversuch** wurde im Projektzeitraum nur ein einziges Mal durchgeführt (Versuchsaufbau siehe Tab. 4). In 2020 wurden die Dualtyp-Hybriden mit den speziellen, überwinternden Untersaaten zusammen angebaut. Die Dualtyp-Hybriden wurden im Herbst geerntet, während die Untersaaten über Winter auf dem Feld verblieben und im Frühsommer 2021 separat beerntet wurden. Dieser Ansatz soll eine Bodenbedeckung über den Winter gewährleisten und damit zum Erosionsschutz beitragen sowie Stickstoffauswaschungen minimieren. Witterungsbedingt sowie mit dem Ziel eines hohen Blütenangebots durch den Neuaustrieb erfolgte die Ernte der Untersaaten

erst sehr spät zu einem Zeitpunkt, der aus pflanzenbaulicher Sicht ungeeignet war. Da bei einem optimalen, praxisüblichen früheren Erntezeitpunkt keine Blüte zu erwarten war, wurde von einer Wiederholung dieses Versuchsansatzes abgesehen.

Tab. 4: Übersicht zum zweijährigen Kernversuch

Jahr	Faktoren und Faktorstufen Zweijähriger Kernversuch	Standorte
2020	Faktor Sorghumsorte:	Straubing, Rauischholzhausen
bis	• Little Giant	
2021	• Voyenn (STH18119)	
	Faktor Saatstärke Sorghum:	
	• 25 keimfähige Körner/m ²	
	• 15 keimfähige Körner/m ²	
	Faktor Untersaat:	
	• Steinklee 834045 (<i>Melilotus albus</i>) (Mel1)	
	• Steinklee 8212 (<i>Melilotus officinalis</i>) (Mel3)	
	• Luzerne PLANET (<i>Medicago sativa</i>) (Msa1)	
	• Landsberger Gemenge (MTL1)	
	• Mischung FutterGreen (MTL2)	
	• Esparsette SAIFOIN (<i>Onobrychis viciifolia</i>) (Ovi1)	

In diesem Versuch gab es, wie bei allen anderen Versuchen im Jahr 2020, große Probleme mit Verunkrautung und zu dominanten Untersaaten. Mittels Bonitur wurden die negativen Auswirkungen der Untersaaten auf Sorghum bewertet. Gerade der Steinklee zeigte eine sehr große Dominanz und unterdrückte das Sorghum vergleichsweise stark (mittlere Boniturnote 5,4). Auch bei den anderen Untersaaten wurde ein ertragsmindernder Effekt beobachtet: Schwedenklee (3,9), Luzerne (3,8), Landesberger Gemenge (3,6), FutterGreen (3,6) und Esparsette (2,5). Die Sorghumsorte hatte einen signifikanten Einfluss auf Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt, Sorte Little Giant war signifikant ertragreicher, aber etwas weniger abgereift als Sorte Voyenn. Die Saatdichten hatten keinen signifikanten Einfluss. Insgesamt waren die Herbstserträge in diesem Versuch gering, sie reichten von 64,4 dt TM/ha für Little Giant und Steinklee bis 103,1 dt TM/ha für Little Giant und Esparsette (Abb. 6).

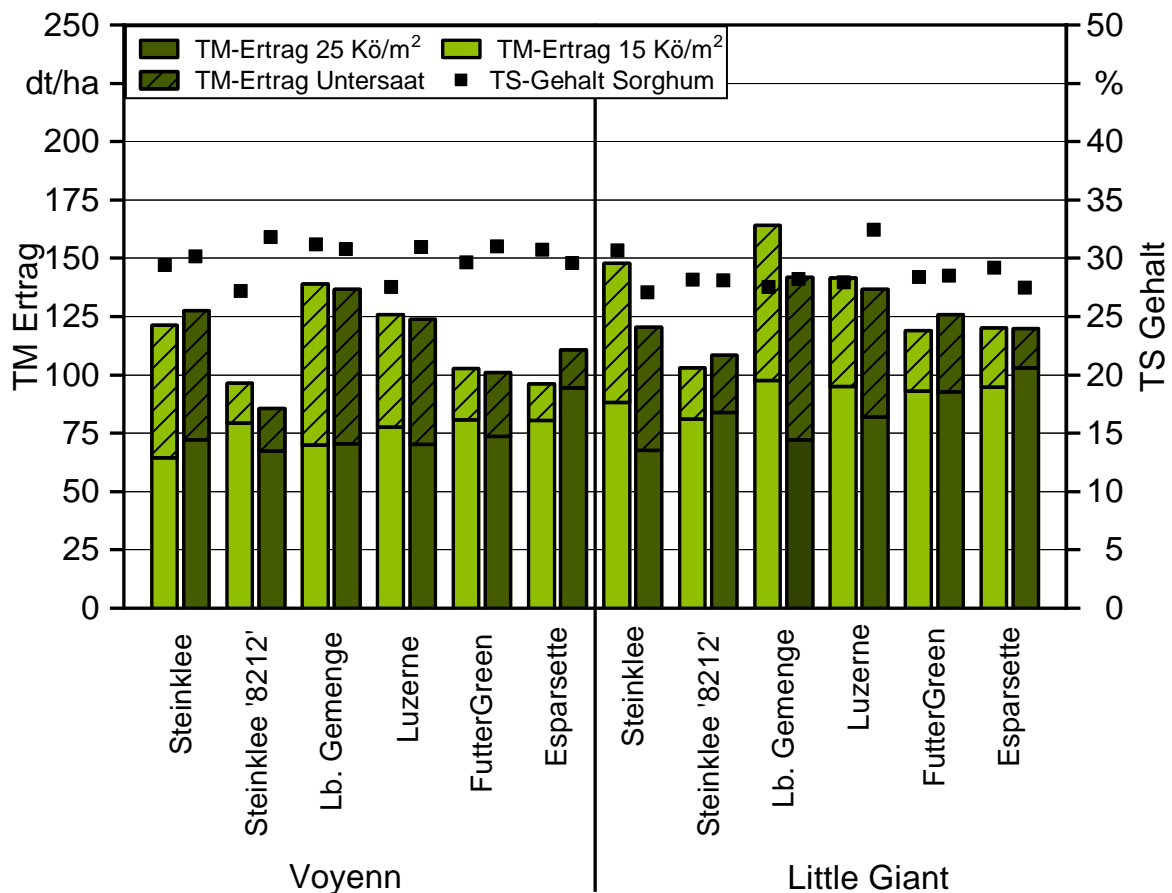


Abb. 6: Trockenmasse- und Trockensubstanzerträge des Zweijährigen Versuchs am Standort Straubing; Ernte des Sorghums am 21.10.2020, Ernte der überjährigen Untersaaten am 15.06.2021

Nach dem Winter 2020/2021 gab es deutliche Auswinterungsschäden in einzelnen Parzellen der Untersaaten, wie in Abbildung 7 zu erkennen. Das eigentliche Ziel der Versuchsbewirtschaftung war eine Ernte im zeitigen Frühjahr, damit nachfolgend eine Hauptfrucht angebaut werden kann. Die Bestände waren allerdings in der Entwicklung verzögert und die Witterung im Mai 2021 sehr feucht und kühl, so dass die Blüte erst spät erfolgte. Daher wurde die Beerntung der überjährig geführten Untersaaten erst am 15.06.2021 durchgeführt, einen praxisunüblichen Termin. In Rauschholzhausen lag der Schwerpunkt der Versuchserweiterung im Frühjahr und Frühsommer 2021 auf den Bonituren zur Insektenattraktivität, weshalb hier auf eine Ertragsermittlung verzichtet wurde.

Die Trockenmasseerträge der Untersaaten waren zu dem späten Zeitpunkt der Ernte zufriedenstellend mit dem Landsberger Gemenge als signifikant ertragsreichster Variante. Für Praktiker ist der zeitliche und finanzielle Aufwand für den erreichten niedrigen Gesamtertrag in dieser Kurzfruchtfolge als deutlich zu hoch anzusehen.



Abb. 7: Auswinterungsschäden und Verunkrautungen im zweijährigen Kernversuch, Foto vom 20.05.2021

Untersuchungen zur Wertigkeit der geprüften Kombinationen für Bienen und andere Insekten

Moderne Bioenergiefruchtfolgen bieten blütenbesuchenden Insekten wenige Nahrungsressourcen. Mischanbau von nektar- und pollenliefernden Untersaaten (US) mit ertragsstarken Deckfrüchten werden als Möglichkeit betrachtet, die agrarökologische Wertigkeit der Biomasseproduktion zu verbessern (Erbs & Köchy, 2020). Deckfrüchte der hier beschriebenen Versuche waren verschiedene Sorten von *S. bicolor*. Angestrebt wurde der Anbau von Dualtypen. Sofern deren Saatgut nicht verfügbar war, wurde auf andere kommerziell verfügbare Sorghumsorten zurückgegriffen.

Prüfung der Gemenge im einjährigen Kleinparzellenversuch auf ihre Wertigkeit für Insekten

In 2020 wurde in ein fünffaktoriellen Feldversuch mit 2 Standorten (Groß Gerau und Rauschholzhausen), 2 Sorghum-Dualtypenhybriden, 2 Sorghumbestandesdichten, 21 US-Arten und 1 bis 2 US-Sorten in zweifacher Wiederholung angelegt. 21 US-Arten aus den Gattungen *Trifolium*, *Phacelia*, *Fagopyrum*, *Raphanus*, *Helianthus*, *Camelia*, *Sinapis* und *Medicago* wurden geprüft. Als Kontrollen wurden Parzellen mit Sorghumreinsaat verwendet. An jedem der beiden Standorte wurden 6 Bienenvölker aufgestellt. Um die 2720 Aufnahmen der Blütenbesuche wurden in den knapp 600 Parzellen über einen Zeitraum von 10 Wochen erhoben. Die Anzahl der Blütenstände je Fläche, der Blütendeckungsgrad, die Bestandeshöhe, die Blühdauer und die Massenerträge wurden wöchentlich erfasst. Die Datenaufnahmen folgten einem stark strukturierten Vorgehen (Abb. 8). Besonders attraktiv für blütenbesuchende Insekten waren *P. tanacetifolia*, *F. esculentum* und *H. annuus*. Jedoch waren diese Gemenge ertragsschwach. Etwas niedrigere, aber statistisch nicht von der Kontrolle unterscheidbare Erträge wurden u. a. mit den Kombinationen Sorghum und *T. alexandrinum*, *T. hybridcum* und *T. resupinatum* erzielt ($\alpha=0,05$, Tukey Test, Tab. 5). Diese Gemenge belegten im Ranking nach der Insektenattraktivität mittlere Plätze. Positive, signifikante Korrelationen wurden zwischen der Dauer, der

Anzahl, dem Deckungsgrad der Blüten sowie der Höhe der US mit der Anzahl Blütenbesuche gefunden ($p < 0,05$, Pearson Koeff.).

Tab. 5: Ertrag und Anzahl Blütenbesuche der Soghummenge mit den in der ersten Spalte aufgeführten Gemengepartnern. Dargestellt sind die über beide Standorte, beide Bestandsdichten, die Untersaatensorten und die Dualtyphybriden aggregierten Werte aus dem Jahr 2020. Die Varianten sind nach Ertragsstärke sortiert. Mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnete Zeilen unterschieden sich signifikant voneinander (Tukey Test, $\alpha = 0,05$)

Genus	Spezies (Abk.)	Ertrag, TM [t / ha]		# Blütenbesuche	
<i>Raphanus</i>	<i>sativus</i> (Rs)	4,94	f	15,88	c
<i>Phacelia</i>	<i>tanacetifolia</i> (Pht)	6,28	f	36,83	a
<i>Fagopyrum</i>	<i>tataricum</i> (Fta)	7,18	ef	4,17	ef
<i>Helianthus</i>	<i>annuus</i> (Ha)	8,75	e	27,77	b
<i>Sinapis</i>	<i>alba</i> (Sal)	9,12	de	10,17	cd
<i>Melilotus</i>	<i>officinalis</i> (Mel)	9,26	de	1,58	ef
<i>Fagopyrum</i>	<i>esculentum</i> (Fes)	9,75	cd	14,33	c
<i>Medicago</i>	<i>sativa</i> (Msa)	10,98	bcd	1,54	ef
<i>Camelia</i>	<i>sativa</i> (Cs)	11,24	bcd	7,15	de
<i>Trifolium</i>	<i>resupinatum</i> (Trr)	11,29	bcd	4,15	ef
<i>Phaseolus</i>	<i>vulgaris</i> (Phv)	11,30	bcd	0,80	ef
Landsberger	Gemenge (Lands)	11,55	abcd	3,12	ef
<i>Trifolium</i>	<i>incarnatum</i> (Ti)	12,22	abc	1,60	ef
<i>Trifolium</i>	<i>pratense</i> (Tp)	12,22	abc	2,66	ef
<i>Trifolium</i>	<i>repens</i> (Tr)	12,30	abc	1,45	ef
<i>Trifolium</i>	<i>hybridum</i> (Thy)	12,37	abc	4,86	def
TerraLife®	Mischung der DSV	12,40	abc	15,70	c
<i>Onobrychis</i>	<i>viciifoli</i> (Ovi)	12,60	ab	1,26	ef
<i>Vicia</i>	<i>fabas</i> (Vf)	12,68	ab	0,39	f
<i>Lablab</i>	<i>purpureus</i> (Lap)	12,72	ab		
<i>Trifolium</i>	<i>alexandrinum</i> (Ta)	12,91	ab	2,75	ef
<i>Vicia</i>	<i>sativa</i> (Vs)	14,00	a	1,00	ef
Kontrolle	ohne US	14,08	a		

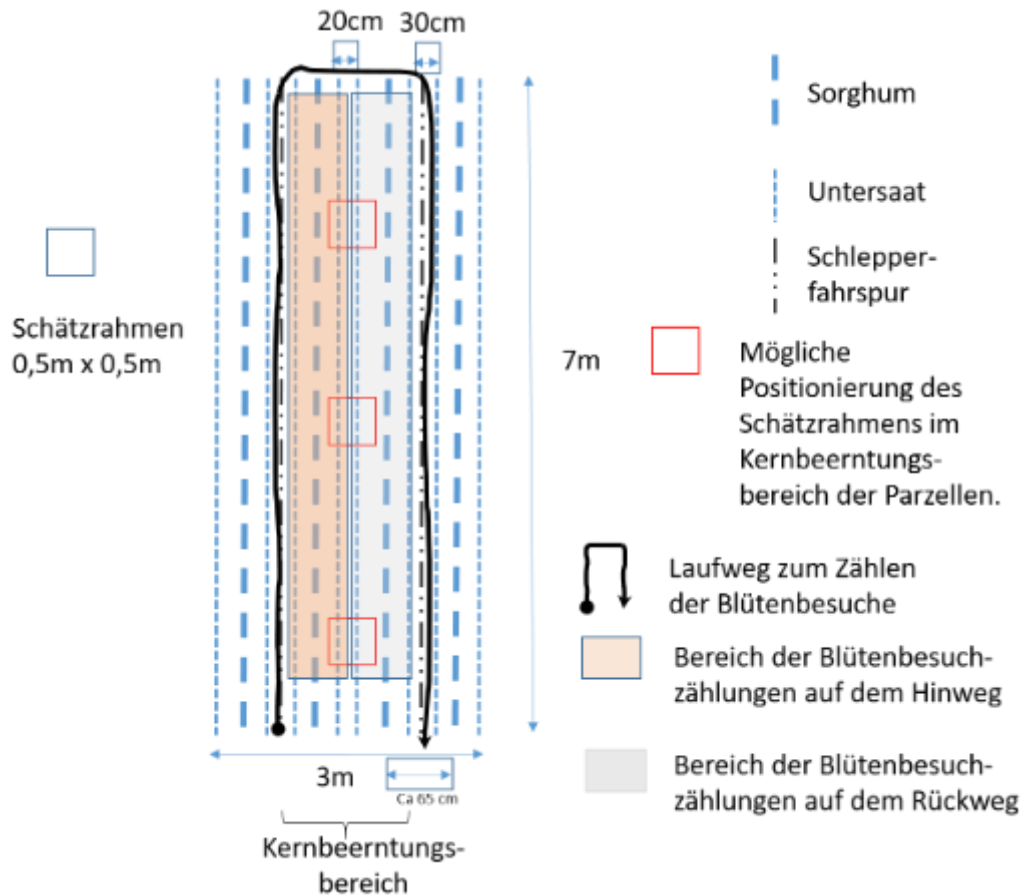


Abb. 8: Boniturplan der Versuchspartellen mit Laufweg zur Zählung der Blütenbesuche und Positionierung der Erhebungen des Pflanzenbestandes



Abb. 9: blühende Untersaat Perserklee (*T. respinatum*) unter *S. bicolor*



Abb. 10: Gemenge aus Leindotter (*C. sativa*) und *S. bicolor*

zweijähriger Testansatz der Kleinparzellenveruche

Die Anlage dieser Versuche erfolgte am Standort in Rauischholzhausen im Jahr 2020. Es wurde die brown midrip Sorghumsorte „little giant“ angebaut. Die im folgenden genannten Mischungspartner wurden zwischen den Sorghumreihen ausgedrillt:

Michelsklee (*Trifolium michelianum*; "Mel1")

Steinklee (*Melilotus officinalis*. "Mel3").

Landsberger Gemenge (DSV TerraLife "FutterGreen" "Mtl2")

Esparsette (*Onobrychis viciifolia*, cv. 'Sainfoin' "Ovi1")

Luzerne (*Medicago sativa* cv. Planet; "Msa1")

Die Bestände am Standort Rauischholzhausen, Gemarkung Mardorf, entwickelten sich gut und konnten ausgewertet werden. Die Sorghum-Hauptfrucht wurde im Oktober 2020 abgeerntet. Die Untersaaten wurden dabei mitgehäckselt. Die Fläche wurde nach der Ernte nicht bearbeitet. Es erfolgten keine weiteren Pflegemaßnahmen. Nach dem Winter zeigte sich ein gutes Wachstum der Untersaaten. In der ersten Junihälfte erreichten die Pflanzen Vollblüte. Die Flächen wurden bis Mitte Juni 2021 regelmäßig bonitiert. Es wurden die Bestandeshöhe, die Anzahl Blüten je Flächeneinheit und die Anzahl der Blütenbesuche erfasst.

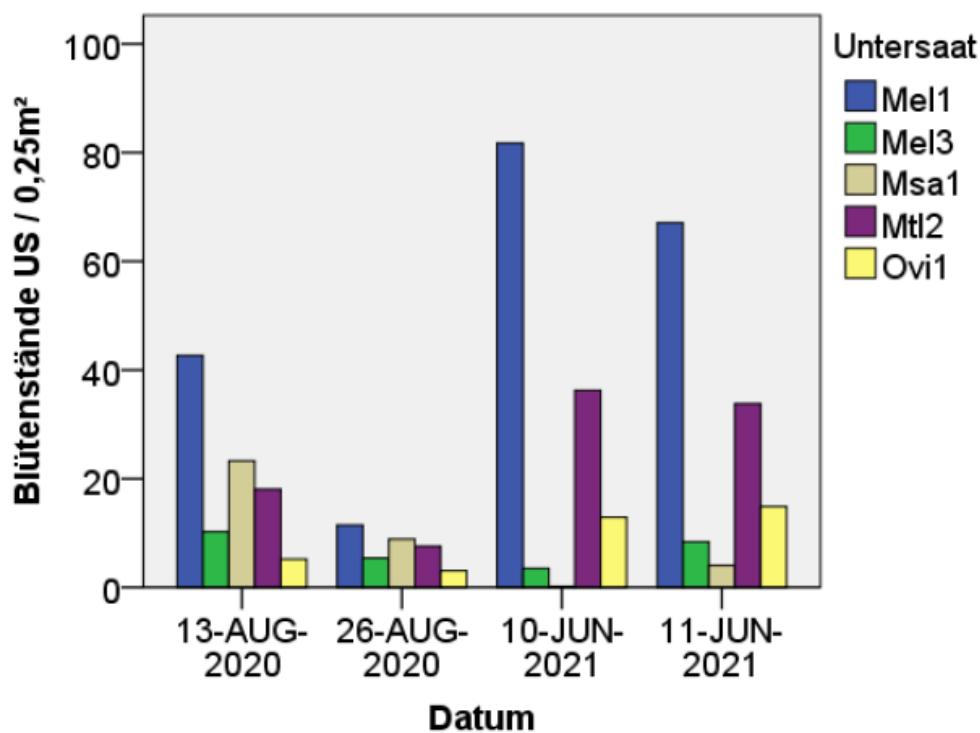


Abb. 11: Anzahl der Blütenstände mit offenen Blüten je Flächeneinheit in Abhängigkeit der Zeit für die Untersaaten des zweijährigen Versuchs, Standort Rauischholzhausen

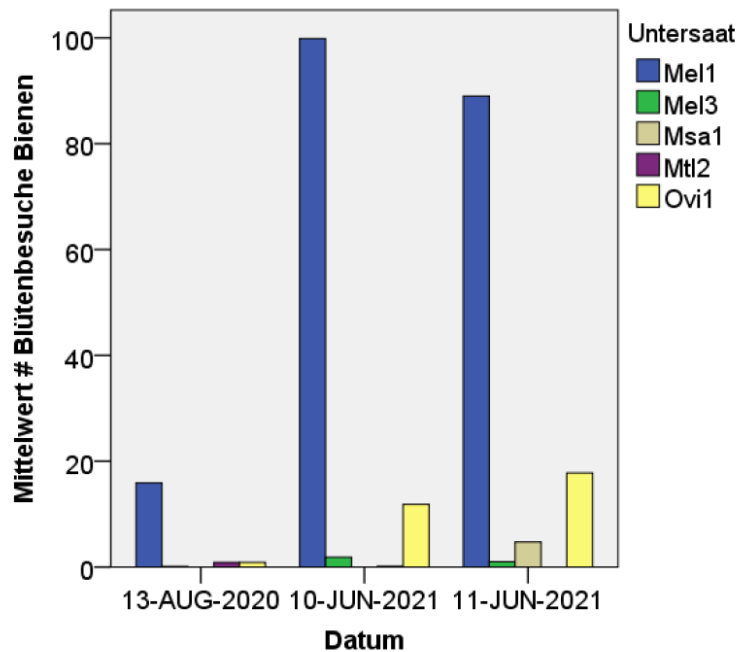


Abb. 12: Anzahl der Blütenbesuche von Honigbienen in Abhängigkeit der Zeit für die Untersaaten des zweijährigen Versuchs, Standort Rauschholzhausen

Die Untersaaten haben insbesondere im zweiten Jahr viele Blüten gebildet und sind intensiv von Bienen befliegen worden (Abb. 11 und Abb. 12). Herausragend ist der Michelsklee, dessen Blüten sehr intensiv von Bienen befliegen wurden. Michelsklee ist in Mitteleuropa nicht winterfest, jedoch hatten die Pflanzen in 2020 stark ausgesamt. In 2021 haben sich aus dem Saatgutvorrat im Boden neue Bestände selbst regeneriert. Die Versuche haben den hohen potenziellen Trachtwert des zweijährigen Ansatzes belegt. Für die Implementierung dieses Mischanbauverfahrens in die Praxis gilt es, Nutzungskonzepte zu entwickeln, die den Blühpflanzen im zweiten Jahr möglichst lange Standzeiten ermöglichen, so dass die Dauer des Blütenangebots maximiert wird.



Abb. 13: vorne: Michelsklee in Vollblüte, hinten: Parzelle mit gelbem Steinklee, rechts Esparsetten-Parzelle und zwischen den beiden Parzelle mit Landsberger Gemenge; Aufnahme vom 14.06.2021

Die Blütenbesuchszahlen und das Blühangebot des zweijährigen Versuchsansatzes zeigen dessen hohes Potenzial zur Verbesserung der Nahrungsressourcen der Bestäuber. Jedoch überraschen die Zahlen der Steinkleevariante. Steinklee ist eine für Bienen hochattraktive Trachtpflanze (FNR 2024). Trotzdem wurden bei den Steinkleeparzellen nur geringe Blütendichten und relativ wenige Blütenbesuche beobachtet. Angebaut wurde der gelbe Steinklee (*Melilotus officinalis*). Bei dieser Art blühen ca. 5% der Pflanzen im ersten Jahr. Der Großteil der Pflanzen erblüht im zweiten Jahr. Der Bestand wurde aus Gründen der weiteren Fruchtfolgegestaltung Mitte Juni abgeerntet. Zu diesem

Zeitpunkt begannen die Pflanzen zu blühen (BBCH 61 bis 63; (Hack et al. 1992)). Aufbauend auf den vorliegenden Versuchsergebnissen könnte ein Nutzungskonzept weiterentwickelt werden, bei dem der gelbe Steinklee bis mindestens zum Hochsommer auf dem Feld verbleibt und somit das Stadium der Vollblüte erreicht. Dadurch könnte das Trachtpotenzial der Pflanze voll ausgeschöpft werden. Eine weitere Option, um das Trachtpotenzial des Steinklees zu realisieren, bietet möglicherweise die Verwendung bestimmter Sorten des weißen Steinklees (*Melilotus albus*). Der Übergang in die generative Phase hängt von der Tageslänge und der Temperatur ab (siehe z. B. Verweise (Bull 2013) S. 13,14). Vernalisation und Langtag induzieren die Blüte. Jedoch sind Photosensitivität und die Dauer bis zur Blüte herkunfts- und sortenabhängig. Darüber hinaus gibt es einjährige Formen, die bereits im Jahr der Aussaat blühen (Evans und Thompson 2006). Deren Eignung als Gemengepartner mit Sorghum bleibt zu prüfen.

Prüfung weiterer Gemengepartner

Die Kleinparzellenversuche wurden in 2021 mit zusätzlichen Gemengepartnern erweitert, die von Dritten als vielversprechende Kandidaten benannt worden waren und deswegen eine weitere Beobachtung rechtfertigten. Die Testvarianten sind in **Tab. 6: Liste der zusätzlich in 2021 geprüften Gemengepartner** gelistet.

Tab. 6: Liste der zusätzlich in 2021 geprüften Gemengepartner

Gemengepartner	Abkürzung
• Ackerwicke <i>Vicia sativa</i>	Vs1
• Esparsette <i>Onobrychis viciifolia</i>	Ovi1
• Helmbohne <i>Lablab purpureus</i> , 2 Herkünfte	Lab1 und Lab2
• Hornschotenklee <i>Lotus corniculatus</i>	Lc1
• Schwedenklee <i>Trifolium hybridum</i>	Mel1
• Seradella <i>Ornithopus sativus</i>	Ovi2
• Spitzwegerich <i>Plantago lanceolata</i>	Pla DSV
• Spitzwegerich <i>Plantago lanceolata</i> 'Libor'	Pla RS
• Stangenbohne <i>Phaseolus vulgaris</i>	Phv
• Weiße Lupine <i>Lupinus albus</i> , 2 Herkünfte	Lu1; Lu2
• Wiesenknopf <i>Sanguisorba officinalis</i>	Sang

Bonitiert wurden die Entwicklung der Pflanzen, die Anzahl Blütenstände mit offenen Blüten und die Anzahl der Blütenbesuche durch bestäubende Insekten.

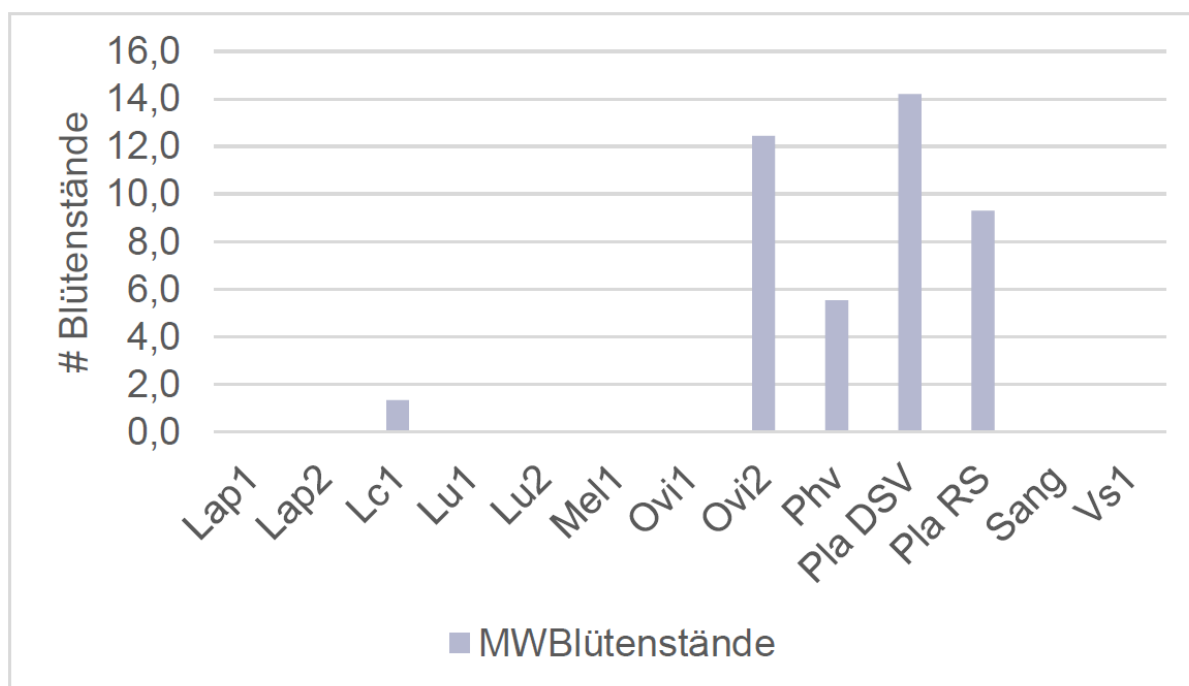


Abb. 14: mittlere Anzahl Blütenstände mit offenen Blüten je 0,25 m², gemittelt über alle Boniturtermine

Insgesamt entwickelten sich die Untersaaten am Standort Rauschholzhausen ungenügend. Die Helmbohne war recht wüchsig. Sie ist jedoch nicht in die generative Phase übergegangen. Viele Herkünfte der Helmbohnen sind photosensitiv (Sennhenn et al. 2017). Möglicherweise verhinderte bei den in diesem Versuch verwendeten Lablab-Sorten der mitteleuropäische Langtag die Blühinduktion. Deswegen wurden Lablab-Genbankakzessionen geprüft. Der Schwedenklee, die Wicke, die Lupinen, der Hornschotenklee und der Wiesenknopf haben sich schlecht entwickelt, so dass unter den Bedingungen des Jahres 2021 von deren Seite kein nennenswerter Trachtbeitrag geliefert wurde. Spitzwegerich erwies sich als geeigneter Partner in Kombination mit Sorghum und entwickelte reichlich Blüten, die von pollensammelnden Honigbienen häufig aufgesucht wurden. Außerdem haben sich vor allem Fliegenarten für die Wegerichblüten interessiert.



Abb. 15: Blühende Spitzwegerichuntersaat unter Sorghum, Aufnahme vom 02.08.2021

Arbeitspaket 2: Optimierung geeigneter Sorghum-Mischungen hinsichtlich pflanzenbaulicher Aspekte und Sortenwahl

Die produktionstechnischen Versuche zielten auf die pflanzenbauliche Optimierung der Sorghum-Mischungen ab und wurden parallel zur Suche nach geeigneten Mischungen mittels Kernversuch durchgeführt. Dazu wurden insgesamt sechs Versuche angelegt, die nicht alle in jedem Jahr und an jedem Standort durchgeführt werden konnten (Details siehe folgende Seiten). Aufgrund begrenzter Saatgutverfügbarkeit der Sorghumsorten Voyenn und Vilomene wurden diese produktionstechnischen Versuche im Allgemeinen mit der *Sorghum bicolor*-Dualtyp-Sorte RGT Swingg durchgeführt.

Grasgemenge-Versuch

Im **Grasgemenge-Versuch** wurde überprüft, ob verschiedene Grasanteile an Deutschem Weidelgras (*Lolium perenne*) zusätzlich zur Untersaat die Befahrbarkeit des Ackerbodens zur Ernte positiv beeinflussen, ob sie die Unkrautunterdrückung der Untersaaten erhöhen können oder ob sie selbst zu starker interspezifischer Konkurrenz führen. Für diesen und alle anderen Versuche wurden die Saatstärken der Untersaaten von vorher 50 % der Reinsaatstärke in 2021 deutlich reduziert, um ihre Wüchsigkeit und damit Konkurrenzstärke der Untersaaten gegenüber dem Sorghum abzuschwächen. Die Faktoren und Faktorstufen werden in Tabelle 7 dargestellt, in 2022 wurde der Versuch nicht nochmals durchgeführt.

Tab. 7: Übersicht zum Grasgemenge-Versuch

Jahr	Faktoren und Faktorstufen im Grasgemenge-Versuch	Standorte
2020	Faktor Grasbeimengung: <ul style="list-style-type: none"> • kein Deutsches Weidelgras; • 10 % Deutsches Weidelgras (als Prozentanteil einer Reinsaat); • 30 % Deutsches Weidelgras Faktor Untersaat: <ul style="list-style-type: none"> • Buchweizen (<i>Fagopyrum esculentum</i>) • Perserklee (<i>Trifolium resupinatum</i>) • Phacelia (<i>Phacelia tanacetifolia</i>) • Sommerwicke (<i>Vicia sativa</i>) • Sonnenblume (<i>Helianthus annuus</i>) 	Straubing
2021	Faktor Grasbeimengung: <ul style="list-style-type: none"> • kein Deutsches Weidelgras; • 10 % Deutsches Weidelgras (als Prozentanteil einer Reinsaat); Faktor Untersaat: <ul style="list-style-type: none"> • Buchweizen, 25 % der Reinsaatmenge • Perserklee, 30 % der Reinsaatmenge • Phacelia, 25 % der Reinsaatmenge • Mischung mit Phacelia • Kontrolle ohne Untersaat (aber mit Gras) 	Straubing, Rauischholzhausen

Die Ergebnisse des Grasgemenge-Versuchs waren wenig eindeutig, daher wurde dieser produktionstechnische Versuch nach den Jahren 2020 und 2021 eingestellt. Im Jahr 2020 zeigte sich, dass der Faktor Grasanteil keinen signifikanten Einfluss auf den Ertrag der getesteten Varianten hatte, auch die Tendenzen der Kontrolle ohne Gras waren uneindeutig (siehe Abb. 16). Die Trockenmasseerträge unterschieden sich ausschließlich durch die Untersaaten und waren generell durch den hohen Unkrautdruck am Versuchsstandort beeinflusst, obwohl sichtbare Unterschiede im Grasanteil bestanden (siehe Abb. 17). Aufgrund des trockenen Septembers konnte außerdem kein Zusammenhang von Grasanteil und Bodentragfähigkeit geprüft werden, da eine gute Befahrbarkeit während der Erntezeit gegeben war.

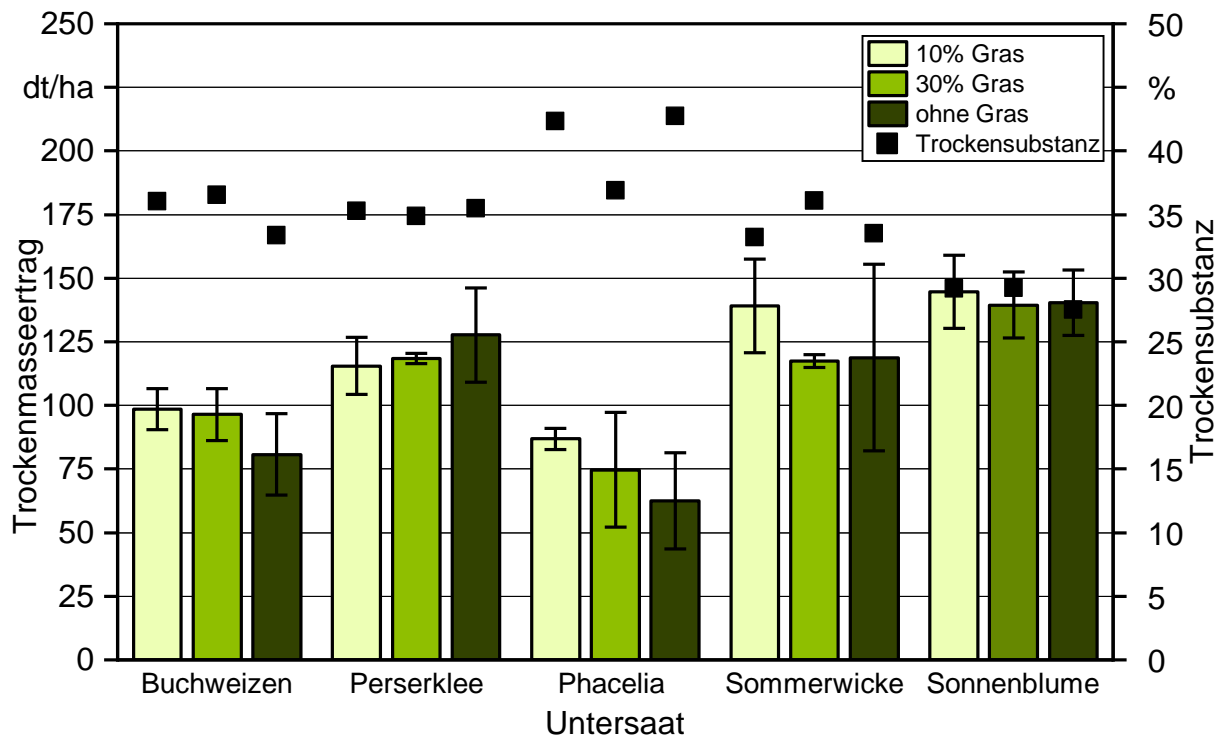


Abb. 16: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte im Grasgemenge-Versuch 2020 am Standort Straubing



Abb. 17: Drohnenaufnahme des Grasgemenge-Versuchs 2020 nach der Beerntung, der unterschiedlich hohe Grasanteil der Varianten ist deutlich sichtbar, Wiederaufwuchs einzelner Untersaaten zeichnet sich ebenfalls ab

Im Folgejahr 2021 wurde der Versuch leicht modifiziert: Da die Höhe des Grasanteils im Jahr 2020 keinen Einfluss auf den Ertrag zeigte, wurde für das Jahr 2021 die Variante mit 30 % Grasanteil verworfen, um in der Praxis Saatgutkosten einzusparen. Auch in diesem Jahr hatte die Grasbeimengung keinen signifikanten Einfluss auf den Ertrag. Lediglich für die Untersaat und den Ort konnte ein signifikanter Einfluss auf den Gesamtertrag der Sorghum-Untersaat-Mischung nachgewiesen werden. Dabei kam es zu einer Wechselwirkung zwischen der Untersaat Buchweizen und dem Ort (Abb. 18). In Straubing lagen die Erträge für die Buchweizenvarianten mit sowie ohne Grasbeimengung höher als in Rauschholzhausen, da sich in letzterem Ort die Konkurrenz von Buchweizen auf das Sorghum stark auswirkte.

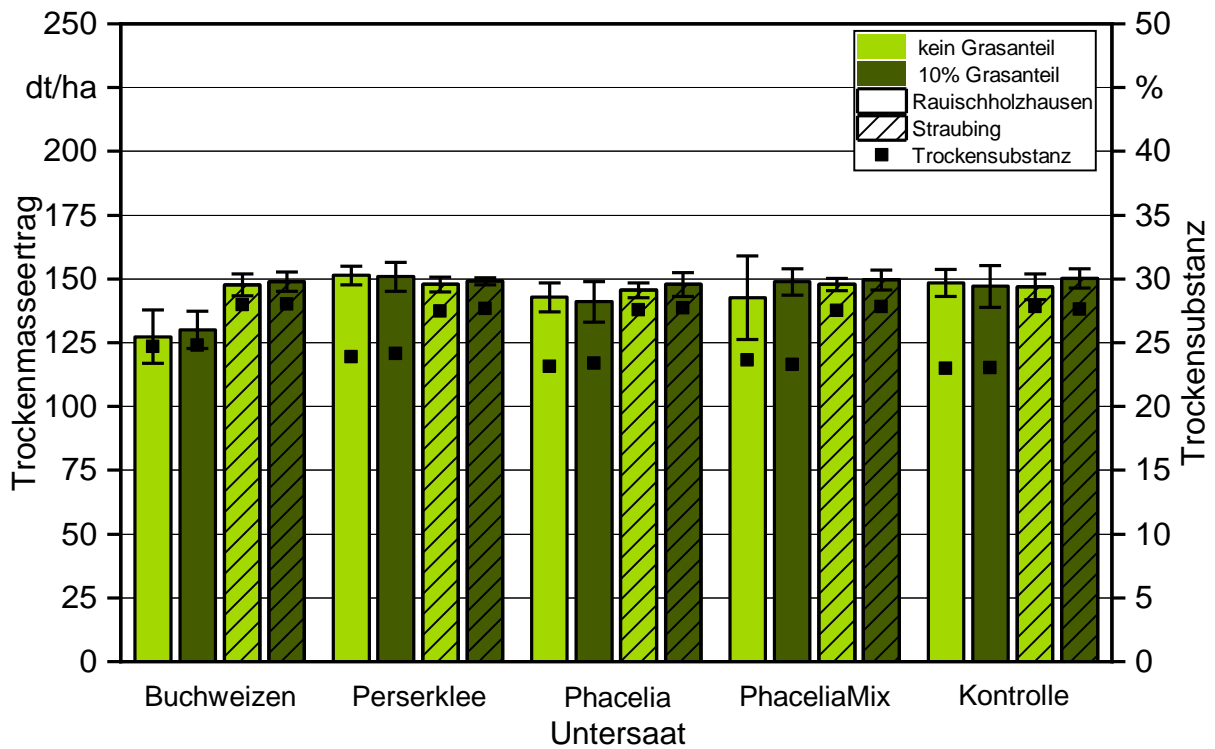


Abb. 18: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte im Grasgemenge-Versuch 2021 an den Standorten Straubing und Rauischholzhausen

Für das Versuchsjahr 2021 muss allerdings festgehalten werden, dass die Ergebnisse nicht aussagekräftig sind, da die Untersaaten nur sehr schwach etabliert waren. Das kalte und regnerische Frühjahr verzögerte die Aussaat in Straubing bis zum Anfang Juni. Ab diesem Monat herrschten dann mit warmen Temperaturen optimale Bedingungen für das Wachstum von Sorghum, so dass die Untersaaten zu schnell unterdrückt wurden und sich nicht gut etablieren konnten (siehe beispielhaft Abb. 19). Dementsprechend war wiederum eine Überprüfung der vermuteten besseren Bodentragfähigkeit durch das Gras nicht möglich. Nach diesen Erfahrungen wurde dieser Versuchsansatz für das letzte Versuchsjahr 2022 zugunsten einer anderen Fragestellung eingestellt.



Abb. 19: Drohnenaufnahme des Grasgemenge-Versuchs 2021 in Straubing nach der Beerntung, außer in den Stirnrandbereichen (links und rechts im Bild) der Parzellen mit höherem Lichteinfall von den Zwischenwegen sind neben dem Sorghum-Stoppeln kaum Untersaaten oder Gras sichtbar

Aussaatzeitpunkt-Versuch

Im **Versuch zum Aussaatzeitpunkt** wurde der Saatzeitpunkt der Untersaat im Vergleich zur Sorghumaussaat variiert, um damit Einfluss auf die interspezifische Konkurrenz der Kulturen zu

nehmen. Weiterhin besteht durch die versetzte Aussaat die Möglichkeit, eine chemische oder mechanische Unkrautkontrolle im vorab reinen Sorghumbestand durchzuführen. In 2022 wurden die besonders konkurrenzstarken Untersaaten Phacelia und Buchweizen nur noch in Mischungen mit anderen Untersaaten angebaut. Die getesteten Untersaaten waren identisch mit dem Gras-Gemenge-Versuch, siehe Tabelle 8.

Tab. 8: Übersicht zum Aussaatzeitpunkt-Versuch

Jahr	Faktoren und Faktorstufen im Aussaatzeitpunkt-Versuch	Standorte
2020	<p>Faktor Aussaatzeitpunkt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Saat Untersaat ca. 2 Wochen vor Sorghumsaat • gleichzeitige Saat von Sorghum und Untersaat • Saat Untersaat bei Sorghum BBCH 15 bis 16 • Saat Untersaat bei Sorghum BBCH 15 bis 16 nach Fräseinsatz <p>Faktor Untersaat:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Buchweizen • Perserklée • Sommerwicke 	Straubing
2021	<p>Faktor Aussaatzeitpunkt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • gleichzeitige Saat von Sorghum und Untersaat • Saat Untersaat bei Sorghum BBCH 11 bis 12 • Saat Untersaat bei Sorghum BBCH 13 bis 14 <p>Faktor Untersaat:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Buchweizen • Perserklée • Phacelia • Mischung mit Phacelia • Kontrolle ohne Untersaat (nur bei Faktorstufe gleichzeitige Aussaat) 	Straubing, Rauischholzhausen
2022	<p>Faktor Aussaatzeitpunkt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • gleichzeitige Saat von Sorghum und Untersaat • Saat Untersaat bei Sorghum BBCH 11 bis 12 (nach Hackeinsatz) <p>Faktor Untersaat:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mischung mit Buchweizen • Perserklée, 30 % der Reinsaatmenge • Mischung mit Phacelia • Kontrolle ohne Untersaat (nur bei Faktorstufe gleichzeitige Aussaat) 	Straubing, Rauischholzhausen, Trossin

Der Versuch zum Aussaatzeitpunkt war 2020 so stark von der Unkrautflora beeinflusst, dass leider keinerlei belastbare Aussagen möglich waren. Für das Jahr 2021 wurde der Versuch angepasst und die Variante der vorzeitigen Aussaat der Untersaat verworfen, da diese zu einer massiven Unterdrückung des Sorghumbestands geführt hatte. Die für das Sorghum wüchsige Witterung nach der Aussaat in Kombination mit dem späteren Aussaatzeitpunkt zu BBCH 13–14 hatte zur Folge, dass die Untersaaten in diesen Varianten stark unterdrückt wurden und sich nur sehr schlecht etablieren konnten. Anfang September sind die Untersaaten bis auf Buchweizen und Phacelia zusammengebrochen und waren zur Ernte nicht mehr erfassbar. Der Buchweizen stand in Konkurrenz zum Sorghum und verringerte hier den Ertrag. Einzig in den Varianten mit Phacelia konnte diese Untersaat vermutlich zum Biomasseertrag beitragen.

In 2021 konnten signifikante Ertragsunterschiede zwischen den Aussaatzeitpunkten nachgewiesen werden. Dabei wurden die höchsten Erträge bei der Aussaat der Untersaat im BBCH Stadium BBCH 13–14 erreicht, aufgrund der damit reduzierten Konkurrenzkraft der Untersaaten. Danach kamen in ertraglicher Sicht die Varianten mit Aussaat zum Zeitpunkt BBCH 11–12 und schließlich die Varianten mit zeitgleicher Aussaat von Sorghum und Untersaaten mit den geringsten Erträgen (Abb. 20). Auch zwischen den Untersaat-Varianten wurden signifikante Unterschiede festgestellt, die Anordnung ist wie folgend von höchstem zu niedrigstem Ertrag: Phacelia-Mischung (a), Perserklée (a), Phacelia (ab), Kontrolle (ab), Buchweizen (b); dabei unterschieden sich Varianten mit gleichem Buchstaben nicht signifikant. Damit zeichnete sich nochmals deutlich der Buchweizen als Untersaat mit der stärksten Konkurrenz und demnach negativen Effekten ab. Zwischen den beiden Versuchsstandorten wurde kein signifikanter Unterschied nachgewiesen, allerdings traten zwischen Untersaat und Ort Wechselwirkungen auf, die mit der beobachteten weitaus stärkeren Wüchsigkeit der Phacelia in Rauischholzhausen erklärt werden können.

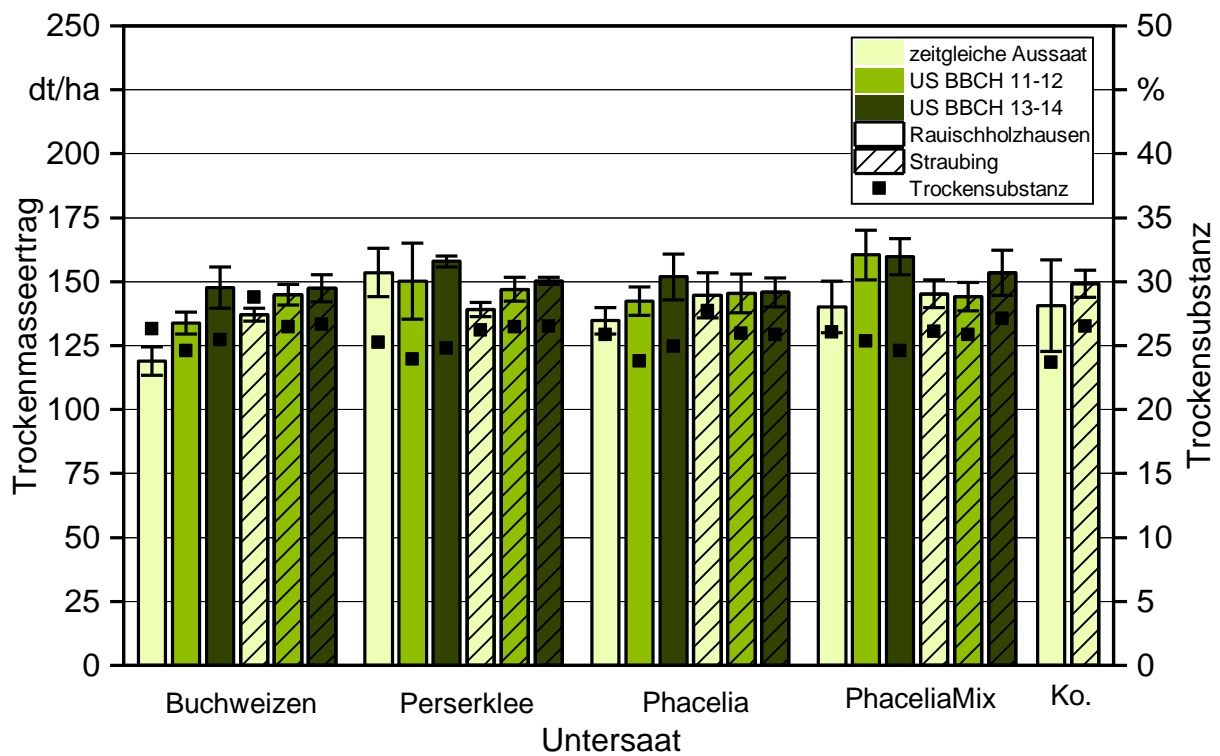


Abb. 20: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte im Aussaatzeitpunkt-Versuch 2021 an den Standorten Straubing und Rauischholzhausen, „Ko.“ steht für Kontrolle (ohne Untersaat)

Für das letzte Versuchsjahr 2022 wurde der Versuch abermals angepasst: die Untersaaten Phacelia und Buchweizen wurden nur noch in Mischungen getestet, um so ihre Konkurrenz weiter zu verringern und damit Ertrag sowie Blühleistung zu verbessern. Außerdem wurde der späte Aussaatzeitpunkt zu BBCH 13–14 aufgrund der dann zu großen Dominanz des Sorghums verworfen. In diesem Jahr war der Feldaufgang bei Sorghum sehr gut. Bei den Untersaaten war der Aufgang etwas zögerlich, nach einer zweiten Auflaufwelle stand die Entwicklung der Untersaaten dann in gutem Verhältnis zu Sorghum. Insbesondere der Buchweizen in der Mischung konnte gut mit Sorghum mitwachsen, ohne das Sorghum sichtbar zu überwuchern. Der Blühbeginn von Buchweizen mit zeitgleicher Aussaat war in Straubing sehr früh am 21.06.2022 und für den versetzten Aussaatzeitpunkt zu BBCH11–12 etwa zwei Wochen später am 05.07.2022. Die Blühleistung des Buchweizens war in der gesamten Vegetationsphase bis zur Ernte sehr gut. Der Perserklee kam ingegen nur vereinzelt in Blüte, so dass seine Blühleistung zu vernachlässigen war, er übernahm nur die Aufgabe eines Bodendeckers. Die Mischung mit Phacelia bestach ebenfalls durch eine sehr gute Blühleistung. Auffällig dabei war die hohe Attraktivität der Phacelia für Insekten: mit dem Beginn der Phaceliablüte am 05.07.2022 wurden alle anderen Untersaaten kaum mehr befliegen.

Die Trockenmasseerträge (TM-Erträge) und Trockensubstanzgehalte (TS-Gehalte) der Versuchsstandorte Rauischholzhausen, Straubing und Trossin in 2022 sind in Abbildung 21 dargestellt. Die Erträge reichten in Straubing von 164,6 dt TM/ha für die Kontrolle bis 120,4 dt TM/ha für die Phacelia-Mischung bei zeitgleicher Aussaat. Auch Perserklee und die Buchweizen-Mischung wirkten sich bei zeitgleicher Aussaat ertragsmindernd aus. Obwohl die Saatanteile von Buchweizen und Phacelia in den Mischungen für das Versuchsjahr 2022 reduziert wurden, lag war der Feldaufgang immer noch über den angestrebten Werten, so dass gerade bei der Phacelia-Mischung zu viele Pflanzen in den Parzellen standen. Es kann davon ausgegangen werden, dass bei der Mischungszusammenstellung bei der DSV von einer zu geringen Keimfähigkeit von Phacelia und Buchweizen ausgegangen wurde. Für die Praxis lässt sich ableiten, dass die Untersaat im Zweifel eher zu dünn als zu dick ausgesät werden sollte. Der Trockensubstanzgehalt des Ernteguts in Straubing zeigte lediglich zwischen den Untersaaten signifikante Unterschiede, der Zeitpunkt der Aussaat hatte keinen signifikanten Einfluss.

Am Standort Rauischholzhausen schnitt die Kontrolle mit 168 dt TM/ha ebenfalls am besten ab, während die zeitgleich gesäten Varianten massiv reduzierte Erträge aufwiesen: Perserklee mit 121,2 dt TM/ha, Buchweizen-Mischung mit 94,8 dt TM/ha und Phacelia-Mischung mit nur 63,6 dt TM/ha. Erwartungsgemäß konnten bei dieser Streuung der Ergebnisse entsprechende statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Varianten festgestellt werden. Die Trockensubstanzgehalte des Ernteguts waren in Rauischholzhausen etwas geringer als in Straubing.

Der Aussaatzeitpunkt-Versuch erzielte von allen am Standort Trossin durchgeführten Versuchen die höchsten Erträge. Dies ist anscheinend mit der örtlichen Lage des Versuches zu erklären, der – aus

Sicht guten Feldversuchswesens ungünstig – direkt an einem Waldrand lag. Hier ist durch die Beschattung von geringerer Evapotranspiration auszugehen. Völlig praxisfern waren auch die ermittelten TS-Gehalte im Bereich um 70 %, die entweder auf ein völliges Vertrocknen der Bestände im Feld oder eine fehlerhafte Probenverarbeitung hindeuteten. Weiterhin wiesen die Daten in die nahezu entgegengesetzte Richtung zu den beiden anderen Versuchsstandorten. Beispielsweise erreichte die Kontrolle mit 161,3 dt TM/ha den geringsten Ertrag, während für die Perserklee-Varianten die Höchsterträge gemeldet wurden, 184,6 dt TM/ha für den versetzten Aussaatzeitpunkt bei BBCH 11–12 sowie 179,4 dt TM/ha bei zeitgleicher Aussaat. Daher wurde dieser Versuchsstandort bei der Ableitung von (vorläufigen) Praxisempfehlungen außen vor gelassen.

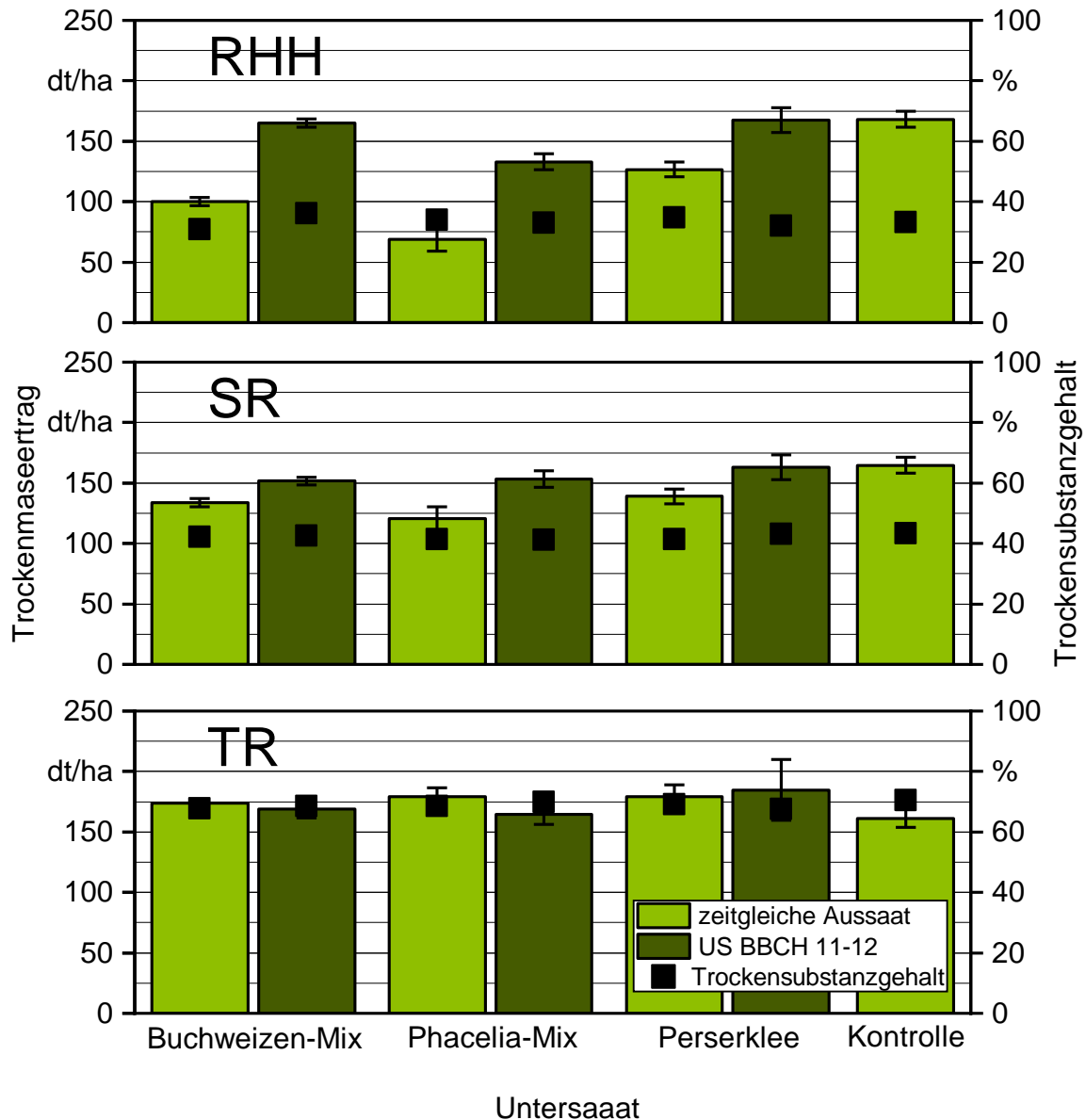


Abb. 21: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte im Aussaatzeitpunkt-Versuch 2022 an den Standorten Rauschholzhausen (RHH), Straubing (SR) und Trossin (TR)

Im Aussaatzeitpunkt-Versuch zeichnete sich ein Zielkonflikt zwischen hoher Ertragsleistung und hohem Blütenangebot ab. Die teilweise sehr hohen Erträge wurden von Sorghum erzeugt, wenn es möglichst wenig Konkurrenz der Untersaaten hatte – also bei versetzter Aussaat der letztgenannten. Dies bedeutete allerdings auch, dass die Untersaaten schon frühzeitig vom Sorghum beschattet wurden, was ihre Entwicklung verzögerte, so dass sie teilweise nicht bis in die generative Phase und damit zur Blüte gelangten.

In der Praxis kann das Verfahren der versetzten Aussaat ein interessantes Anbausystem darstellen, da es eine hohe Flexibilität bietet. Je nach Witterung und Entwicklung des Sorghumbestands können zum einen Unkräuter mechanisch/chemisch bekämpft und zum anderen die Untersaat zu einem passend abgestimmten Zeitpunkt gesät werden. So kann der Mischbau an die jährlich wechselnden Bedingungen angepasst und damit zumindest etwas gesteuert werden. Allerdings geht diese Flexibilität auch mit separaten Arbeitsgängen und somit erhöhten Kosten einher.

Gemenge-Versuch

Der **Gemenge-Versuch** bildete den Einfluss von Reihenweiten und Saatgutmischungen von Sorghum und Untersaaten auf den Etablierungserfolg ab. Die Vorab-Mischung von Saatgut kann zur Arbeitseinsparung und damit Kostenreduktion beitragen. Durch diese Aussaatform könnte sich allerdings die interspezifische Konkurrenz erhöhen, da die Pflanzen gemeinsam in den Reihen stehen. Weiterhin muss die Ablagetiefe des Saatguts auf eine nicht optimale Kompromisstiefe eingestellt werden. Im Wechsel der Versuchsjahre von 2021 auf 2022 wurden die zu testenden Untersaaten deutlich verändert. Die Varianten sind in Tabelle 9 ersichtlich.

Tab. 9: Übersicht zum Gemenge-Versuch

Jahr	Faktoren und Faktorstufen im Gemenge-Versuch	Standorte
2020	Faktor Reihenabstand: <ul style="list-style-type: none"> • Getreideabstand auf 16 cm Reihenabstand • halber Maisabstand auf 37,5 cm Reihenabstand • Sorghum auf 75 cm Reihenweite und Untersaaten separat gesät mit 14 cm Reihenweite dazwischen Faktor Untersaat: <ul style="list-style-type: none"> • Buchweizen • Perserklée • Phacelia • Sommerwicke • Sonnenblume (<i>Helianthus annuus</i>) 	Straubing
2021	Faktor Reihenabstand: <ul style="list-style-type: none"> • Getreideabstand auf 16 cm Reihenabstand (Straubing) bzw. auf 12 cm (Rauischholzhausen) • halber Maisabstand auf 37,5 cm Reihenabstand Faktor Untersaat: <ul style="list-style-type: none"> • Buchweizen, 25 % der Reinsaatmenge • Perserklée, 30 % der Reinsaatmenge • Phacelia, 25 % der Reinsaatmenge • Mischung mit Phacelia nur bei Faktorstufe Reihenabstand 37,5 cm: <ul style="list-style-type: none"> • Sonnenblume • Kontrolle ohne Untersaat 	Straubing, Rauischholzhausen
2022	Faktor Reihenabstand: <ul style="list-style-type: none"> • Getreideabstand (s.o.) • halber Maisabstand auf 37,5 cm Reihenabstand Faktor Untersaat: <ul style="list-style-type: none"> • Mischung mit Phacelia • Perserklée • Sonnenblume (1 Korn/m²) • Sonnenblume (1 Korn/5 m², also 0,2 Korn/m²) • Platterbse (1 Korn/m²) • Körnererbse, halbblattlos (5 Korn/m²) • Perserklée plus Sojaschrot (gegen Entmischung) • Platterbse plus Soaschrot (gegen Entschischung) • Kontrolle ohne Untersaat 	Straubing, Rauischholzhausen, Trossin

In diesem Versuch gab es im Jahr 2020 erhebliche Probleme mit Unkrautbesatz aufgrund der Witterung, so dass Teile dieses Versuchs umgebrochen wurden. Für eine provisorische Auswertung wurde die verbliebenen Faktorstufen der Reihenweite für jede Untersaat zusammengelegt. Davon war die Variante mit Sommerwicke stärker als alle anderen Varianten betroffen. Ableiten ließ sich, dass die Ertragsleistungen der Sonnenblumen mit im Mittel 152,5 dt TM/ha zufriedenstellend waren. Dicht darauf folgte die Sommerwicke mit 120 dt TM/ha, allerdings entsprachen diese durch die schlechte Etablierung der Sommerwicke eher einer Nullkontrolle. Die übrigen Varianten konnten mit ihrer Biomasseleistung nicht überzeugen.

Der Gemenge-Versuch wurde in 2021 in leicht abgewandelter Form angelegt. Nach der Saat herrschten für Sorghum optimale Bedingungen und sowohl die Untersaat als auch der Standort hatten einen signifikanten Einfluss auf den Trockenmasseertrag, die Reihenweite hingegen nicht. Die Kontrolle erbrachte jeweils den höchsten Ertrag (Abb. 21), in Straubing mit durchschnittlich 152,6 dt TM/ha und in Rauischholzhausen mit 132,2 dt TM/ha. Die Variante mit dem signifikant geringsten Ertrag enthielt Buchweizen als Untersaat, der eine starke Konkurrenzskraft zeigte. Lediglich Erträge von 135,7 dt TM/ha in Straubing und 99,5 dt TM/ha in Rauischholzhausen wurden erreicht. Die Trockensubstanzgehalte

waren in Rauschholzhausen größeren Schwankungen zwischen den Varianten unterworfen als in Straubing.

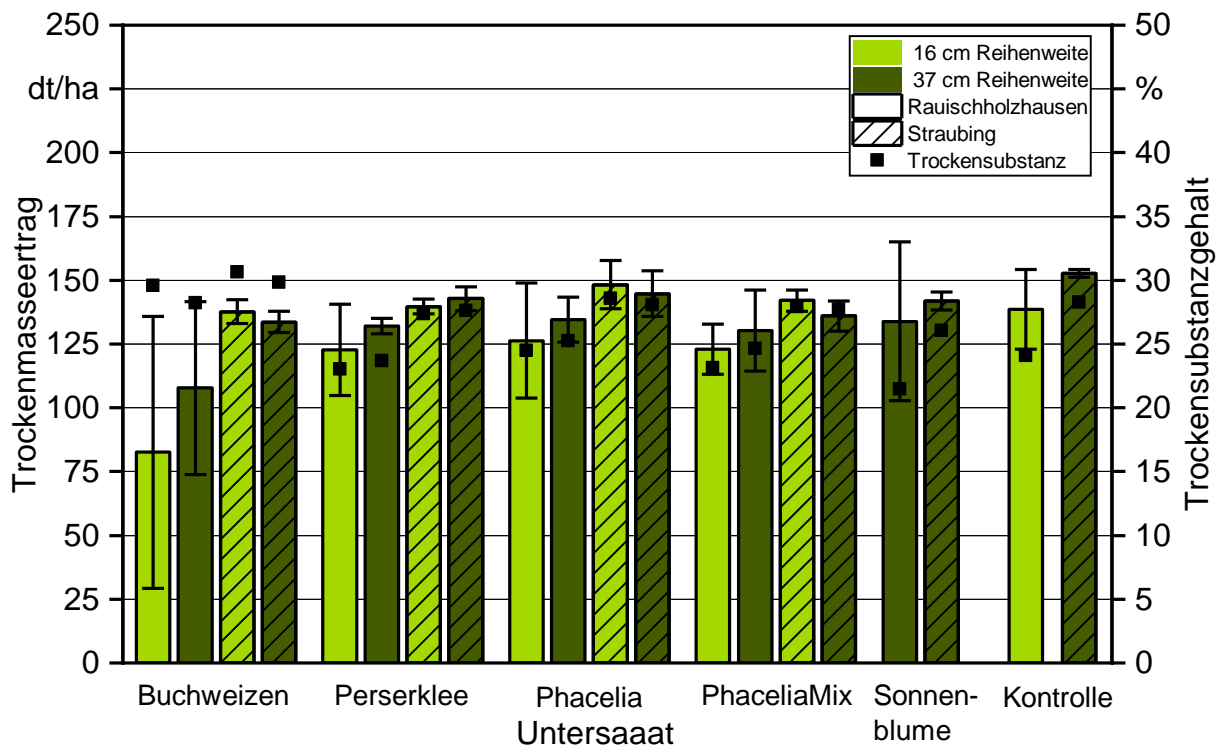


Abb. 22: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte im Gemenge-Versuch im Jahr 2021

War die Witterung im Jahr 2021 optimal für Sorghum, hatte sie jedoch negative Folgen für die Untersaaten. Das Sorghum konnte sich gut entwickeln und die Untersaaten wurden folglich rasch unterdrückt. Die Untersaaten konnten trotzdem den Boden zu großen Teilen bedecken und auch zur Biomassebildung beitragen. Am Stirnrand der Parzellen, den mehr Sonneneinstrahlung erreichte, blühten die Untersaaten zufriedenstellend. Im Inneren der Parzellen hingegen machten sich die schnelle Entwicklung des Sorghums und der Lichtmangel bemerkbar, sodass die Untersaaten hier kaum blühten. Die Varianten mit Buchweizen konnten zwar nicht mit hohen Erträgen überzeugen, zeigten jedoch die beste Blühleistung. Positiv bei diesem Versuch war die geringe Lageranfälligkeit zu bewerten. Gerade bei dem engeren Reihenabstand von 16 cm konnte eine niedrige Lagerneigung von Sorghum und den Untersaaten beobachtet werden. Besonders der Perserklee nutzte die Sorghumpflanzen als Rankhilfe und wuchs in die Höhe, was die miterntbare Biomasseproduktion positiv beeinflussen kann. Von Praktikern wurde das Gemenge mit Sonnenblumen bei Versuchsführungen als leicht umsetzbar und für die Gesellschaft positiv ersichtlichem, mit weithin sichtbarem Blütenangebot ausgesprochen gut beurteilt.

Im Versuchsjahr 2022 wurden weitere Varianten mit Platterbse (*Lathyrus sativus f. albus* L.) einmal mit und einmal ohne Sojaschrotbeimischung ergänzt. Die Mischung mit Phacelia wurde aufgrund der hohen Blütenattraktivität trotz der starken Konkurrenz nochmals angepasst und nur mit einem sehr geringen Phaceliaanteil zusammengestellt. Leider kam es auch in diesem Versuch zu einem deutlich besseren Feldaufgang als aufgrund der Keimfähigkeit abgeschätzt. Die Variante mit Körnererbse zeigte leider einen schlechten Feldaufgang, nur sehr wenige Pflanzen standen in den Parzellen. Bei den Varianten mit Sonnenblume gab es zwar einen vollständigen Feldaufgang, aber das Saatgut entmischte sich etwas, so dass die Sonnenblumen oftmals eher in den Stirnrändern standen.

Als erste Untersaat blühte die Platterbse ab dem 30.06.2022, trotz geringer Aussaatstärke und hoher Beschattung zeigte sie ein gutes Blütenangebot. Sie wurde allerdings im Vergleich zu anderen Untersaaten hauptsächlich von Steinhummel und Erdhummel befliegen, andere Insekten konnten an der Platterbse nicht beobachtet werden. Die Körnererbse hingegen hatte Probleme sich unter Sorghum zu behaupten, die Pflanzen wuchsen nur teilweise mit dem Sorghum mit und kamen nur bei guter Lichteinstrahlung zur Blüte. Die Körnererbse war die einzige Untersaat, an der keine Insekten beobachtet wurden. Ab Mitte Juli machte sich die von der Phacelia ausgehende Konkurrenz bemerkbar, das Sorghum in dieser Variante rollte die Blätter und war auffällig niedriger. Die Konkurrenz um Wasser ist in Abbildung 23 deutlich zu erkennen.



Abb. 23: Phacelia-Mischung im Gemenge-Versuch in Straubing, Sorghum mit Trockenstress und gerollten Blättern, rechts daneben Parzelle mit Perserklee und im Hintergrund Sonnenblume, Foto vom 01.08.2022

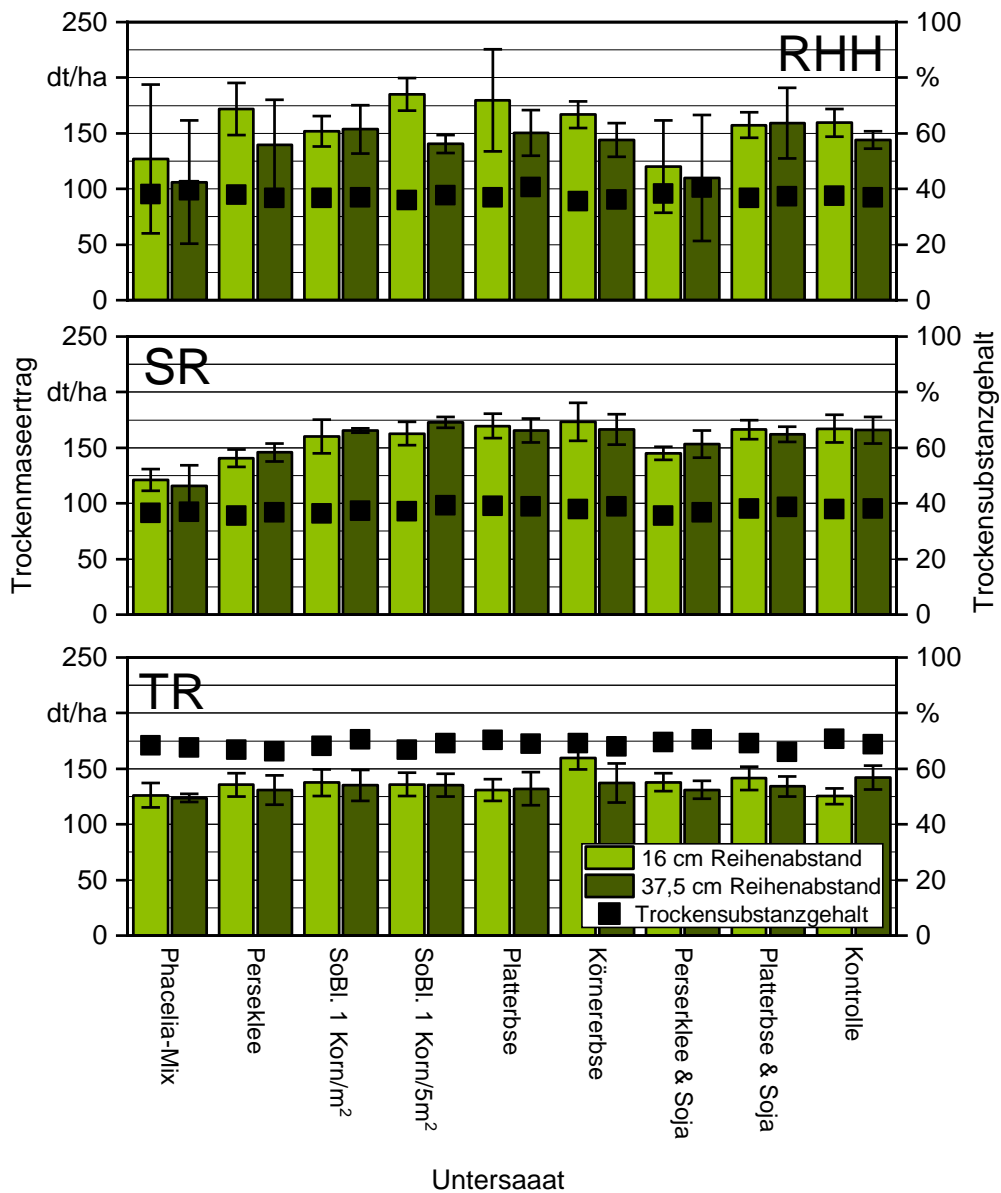


Abb. 24: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte des Aussatzeitpunkt-Versuchs von Rauschholzhausen, Straubing und Trossin, Versuchsjahr 2022

In Straubing wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Trockenmasseerträgen der Varianten festgestellt, sie reichten von 173,5 dt/ha für Körnererbse bei Reihenabstand 16 cm bis zu nur 115,7 dt/ha bei der Phacelia-Mischungen bei 37,5 cm Reihenweite. Außerdem kann festgehalten werden, dass die Reihenweite in Straubing keinen signifikanten Einfluss auf den Ertrag hatte, über die Varianten hinweg zeigte der weite Reihenabstand Trockenmasseerträge von 157,3 dt TM/ha und der enge Abstand 156,3 dt TM/ha. Die Trockensubstanzgehalte waren mit Werten zwischen 36,6 für Phacelia-Mischung bei weiter Reihe und 39,1 % für Platterbsen ebenfalls bei weiter Reihe vergleichsweise hoch. Für den Faktor Reihenweite wurde ein signifikanter Einfluss auf den Trockensubstanzgehalt nachgewiesen, der weite Reihenabstand von 37,5 cm erbrachte mit durchschnittlich 38,0 % einen leicht höheren Trockensubstanzgehalt als die enge Reihe mit 37,1 %.

In Rauschholzhausen unterschieden sich die Trockenmasseerträge mit einer Spanne von 62,6 bis 184,5 dt TM/ha der Varianten stärker voneinander, aufgrund der höheren Streuung konnten leider keine signifikanten Unterschiede zwischen den Untersaat-Varianten nachgewiesen werden. Festgestellt wurde hingegen, im Unterschied zu Straubing, ein signifikanter Einfluss der Reihenabstände. Der enge Reihenabstand von 13 cm führte im Mittel mit einem Trockenmasseertrag von 158,6 dt/ha zu genau 20 dt TM mehr Ertrag als der weitere Reihenabstand mit 37,5 cm (138,5 dt TM/ha). Als Erklärung dafür sollte beachtet werden, dass die Untersaaten bei weitem Reihenabstand bei der Beerntung einiger Varianten teilweise unvollständig vom Häcksler erfasst wurden. Zusätzlich wird geschlussfolgert, dass der enge Reihenabstand den Reihenschluss und damit die Bodenbedeckung und -beschattung förderte. Das kann während trockenen Witterung in der vegetativen Phase positive Auswirkungen auf den Wasserhaushalt und die Ertragsleistung gehabt haben. Signifikante Unterschiede zwischen den Untersaaten wurden für die Trockensubstanzgehalte nachgewiesen. Den mit 40,0 % höchsten Trockensubstanzgehalt wies die Phacelia-Mischung in weiter Reihe auf und die Varianten mit Sonnenblumen mit 31,0 % (1 Sonnenblume/m² bei weiter Reihe) und 26,6 % (1 Sonnenblume/5 m² bei enger Reihe) die geringsten.

Die Erträge am Standort Trossin waren etwas geringer als am Standort Straubing und Rauschholzhausen aus und fielen abermals durch extrem hohe Trockensubstanzgehalte auf. Auch hier erzielten die Phacelia-Mischungen die geringsten Erträge mit 126,1 dt TM/ha bei 12,5 cm und 123,7 dt TM/ha bei 37,5 cm Reihenabstand. Auffällig war der große Ertragsunterschied zwischen den Kontrollvarianten, der genau entgegengesetzt zu Rauschholzhausen ausfiel. Signifikante Unterschiede wurden nur für den Faktor Untersaaten und dort nur zwischen der Körnererbse und den Phacelia-Mischung nachgewiesen. Insgesamt ist auch für diese Versuchsdaten aus Trossin die Übertragbarkeit auf die Praxis nicht gewährleistet.

Für Praktiker scheint dieses Verfahren der gemeinsamen Aussaat von Sorghum und Untersaaten als Saatgutmischung besonders geeignet zu sein, da die Bestandsetablierung trotz suboptimaler Saattiefen gut funktionierte und die praktische Umsetzung mit praxisüblicher Technik ohne Aufwand durchführbar ist.

Strip-Till-Versuch

Die Untersaaten für den **Strip-Till-Versuch** wurden im August 2020 angelegt und über den Winter geführt. Bei diesem Versuch sollte die Strip-Till-Eignung von Sorghum mit den überwinterten Untersaaten geprüft werden, um mögliche positive Einflüsse zu erkennen. Bei diesem Versuch konnten aufgrund der geringen Anzahl von nur zwei Wiederholungen die Dualhybrid-Sorghumsorten aus dem Kernversuch sowie eine Maisreferenz verwendet werden. Die Versuchsdetails waren wie folgend in Tabelle 10 dargestellt.

Tab. 10: Übersicht zum Strip-Till-Versuch

Jahr	Faktoren und Faktorstufen Strip-Till-Versuch	Standorte
2020 bis 2021	Faktor Hauptfrucht: <ul style="list-style-type: none"> • Sorghum Dualtyp-Hybride Vilomene (STH15123) • Sorghum Dualtyp-Hybride Voyenn (STH18119) • Maissorte Jakleen Faktor Untersaat: <ul style="list-style-type: none"> • Weißklee (<i>Trifolium repens</i>) • Schwedenklee (<i>Trifolium hybridum</i>) • Landsberger Gemenge (Mischung der DSV) • keine Untersaat 	Straubing, Rauschholzhausen

Der Strip-Till-Versuch wurde im Jahr 2020 mit Etablierung der Untersaaten angelegt, die dann überwintert wurden. Vor Einsaat des Sorghum wurden die Untersaaten beerntet und danach schmale Reihen (18 cm breit, 5 cm tief, Reihenabstand 75 cm) in die stehenden Untersaaten gefräst, da regional kein Strip-Till-Gerät verfügbar war. Sorghum und Mais wurden auf den so geschaffenen Saathorizont per Einzelkornsaat abgelegt.

Der Versuch wurde musste leider auf Grund der viel zu dominanten Untersaaten deutlich vor der anvisierten Ernte im Sommer 2021 umgebrochen werden. Sowohl Sorghum als auch Mais zeigten sehr schlechten Feldaufgang und eine noch schlechtere Entwicklung (siehe Abb. 25), was vermutlich an einem Zusammenspiel mehrerer Faktoren lag. Die Temperatur lag im April und Mai 2021 bis zu 2 °C unter dem langjährigen Mittel, was in Kombination mit den überwinternden Untersaaten die für Sorghum wichtige Bodenerwärmung verzögerte. Weiterhin wird vermutet, dass die Streifenbearbeitung mit der Fräse direkt vor der Saat das Wurzelwerk der Untersaaten nicht dauerhaft zerstörte, so dass die Hauptfrüchte von Keimung an einer hohen Konkurrenz ausgesetzt waren. Das Saatgut hatte zwar Anschluss zum Bodenwasser, aber der Bodenraum direkt unter dem Saathorizont war von lebenden Untersaatwurzeln verbaut. Die bereits etablierten Untersaaten hatten einen so großen Wachstumsvorsprung, dass Sorghum und Mais überwuchert und verdrängt wurden.

Für eine erfolgreiche Etablierung von Sorghum und Mais ist eine tiefere Bodenbearbeitung essenziell. Beide Kulturen sind in der Jugendentwicklung vergleichsweise konkurrenzschwach, so dass der Ansatz, sie in bestehende Untersaaten zu säen, vermutlich nicht passend war. Im Strip-Till-Verfahren werden in der Praxis Reihengrubber verwendet, die den Boden in Tiefen von 15–25 cm bearbeiten. Auf schweren Böden sollten Strip-Till-Streifen bereits im Herbst angelegt werden, damit mittels Frostgare ein feinkrümeliges Saatbett erzeugt werden kann. Bei dem hier gewählten Ansatz hat anscheinend die flache Bodenbearbeitung in Kombination mit dem von Wurzeln durchsetzten Boden es den Hauptfrüchten Sorghum und Mais rein mechanisch erschwert, sich zu etablieren.



Abb. 25: Hauptfrucht Sorghum wird von Untersaat überwuchert und unterdrückt

Reihenweite-Versuch

Der **Reihenweite-Versuch** mit alternierenden Reihenweiten fokussierte auf den Anbau von Sorghum zusammen mit hohen Begleitkulturen in alternierenden Reihen, dabei wurde gleichzeitig der Einfluss der Reihenweite in diesem Anbausystem untersucht. Dieser Versuch wurde aufgrund des sehr hohen Aussaataufwands nur im Jahr 2021 durchgeführt, siehe Tabelle 11 für die Versuchsdetails.

Tab. 11: Übersicht zum Reihenweite-Versuch

Jahr	Faktoren und Faktorstufen Reihenweite-Versuch	Standorte
2021	Faktor Reihenweite: <ul style="list-style-type: none"> • 75 cm Reihenabstand • 37,5 cm Reihenabstand Faktor Begleitkultur: <ul style="list-style-type: none"> • Sonnenblume (33 % der Reinsaatstärke) • Winterackerbohne (<i>Vicia faba</i>) – ebenfalls als Sommerung angebaut 	Straubing, Rauischholzhausen

- Sommerackerbohne (*Vicia faba*)
- Kontrolle ohne Begleitkultur

Im Reihenweite-Versuch wurden signifikante Unterschiede für die Faktoren Reihenweite, Ort und Begleitkultur/Untersaat festgestellt. Die Reihenweite von 37,5 cm schnitt über beide Standorte hinweg mit einem durchschnittlichen Mehrertrag von 20 dt TM/ha zum Reihenabstand 75 cm bedeutend besser ab. Der Standort Straubing erbrachte mit durchschnittlich 128 dt TM/ha einen signifikant höheren Ertrag als Standort Rauschholzhausen mit 121 dt TM/ha Ertrag. Betrachtet man die Begleitkulturen, so ergaben sich folgende Gruppierungen: Kontrolle (a); Sonnenblume (ab); Sommerackerbohne (b); Winterackerbohne (b); beide Ackerbohnenvarianten unterschieden sich also sigifikant von der Kontrolle aus reinem Sorghum. In diesem Versuch gab es allerdings auch signifikante Wechselwirkungen zwischen Reihenweite und Ort sowie zwischen Begleitkultur und Ort. Dies wird in Abbildung 26 ersichtlich, in der die größeren Ertragsunterschiede der beiden Reihenweiten der jeweiligen Begleitkulturen in Rauschholzhausen auffallen. In Straubing gab es außerdem keinerlei Unterschied zwischen den beiden Reihenweiten der Kontrolle, während in Rauschholzhausen der engere Reihenabstand vorteilhaft für die Ertragshöhe war.

Bei diesem Versuch trat verstärkt Vogelfraß nach der Aussaat auf. Einige Parzellen wurden so in Mitleidenschaft gezogen, dass ein Einfluss auf den Ertrag nicht ausgeschlossen werden konnte. Deswegen ist die Interpretation der Ertragsdaten mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Die Winter- und Sommerackerbohnen bekamen in Straubing ab dem 09.08.2021 Rost, was ihren Ertrag vermindert haben dürfte. Zum 24.09.2021 kurz vor der Ernte waren beide Bohnenarten, durch den Rost beschleunigt, bereits komplett totreif (Abb. 27). Die Blühleistung war bei Sonnenblumen am besten, an den Blütenköpfen konnten viele Blütenbesucher beobachtet werden. Bei Winter- und Sommerackerbohne war die Blühleistung mäßig, die Blütenbesucher waren hier hauptsächlich Fliegenarten. Für Praktiker scheint dieses Verfahren eher ungeeignet, da spezielle Sätechnik mit individuell steuerbaren Einzelkornsäscharen oder zwei zeitlich getrennte, versetzte Überfahrten mit GPS-Technik notwendig sind.

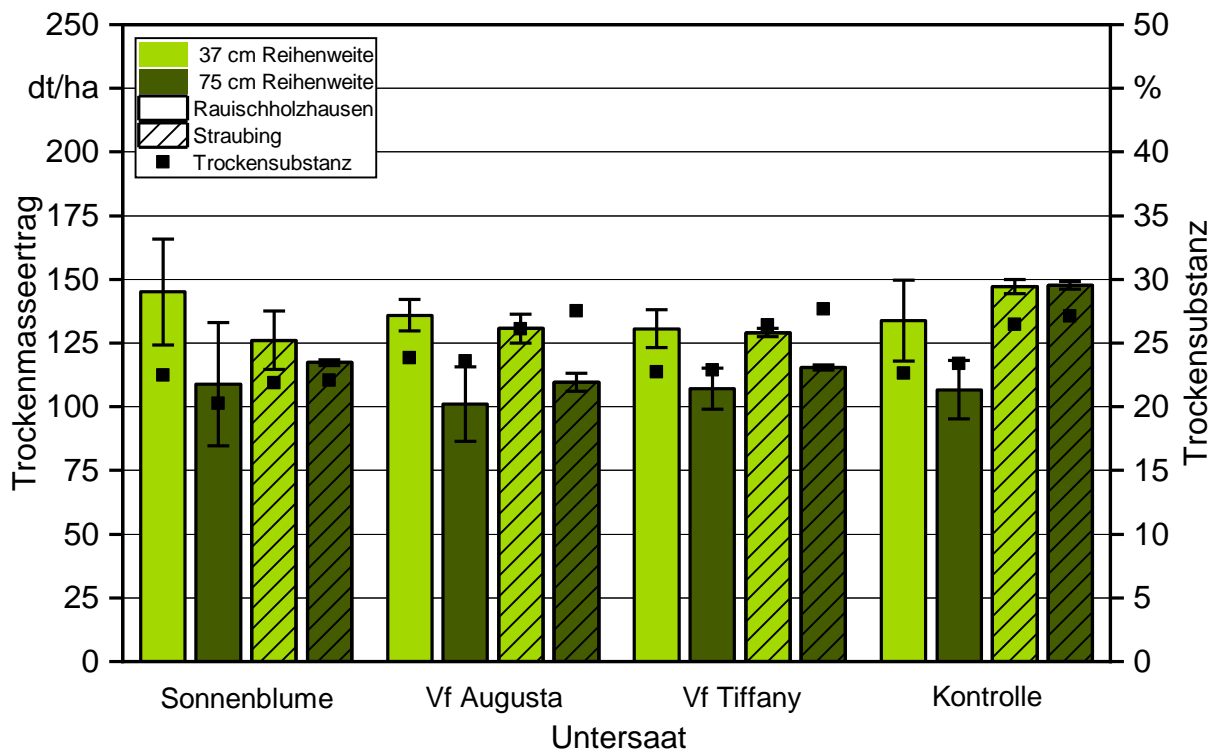


Abb. 26: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte im Reihenweite-Versuch 2021 mit dem Anbau von Sorghum und Begleitkulturen in alternierenden Reihen



Abb. 27: Vorzeitig abgereifte Winterackerbohnen und Sonnenblumen mit alternierenden Sorghum-Reihen im Reihenweite-Versuch am Standort Straubing, Foto vom 24.09.2021

Saadichte-Versuch

Nur in 2022 wurde – als Ersatz für den nicht nochmals durchgeführten Grasgemenge-Versuch – der **Saadichte-Versuch** etabliert, um den Einfluss verschieden hoher Sorghum-Ausstärken auf die Untersaaten, die Bestockung sowie die Ertragsleistung zu untersuchen, siehe Tabelle 12.

Tab. 12: Übersicht zum Saadichte-Versuch

Jahr	Faktoren und Faktorstufen Saadichte-Versuch	Standorte
2022	Faktor Saadichte Sorghum: <ul style="list-style-type: none"> • 10 keimfähige Körner/m² • 15 keimfähige Körner/m² • 20 keimfähige Körner/m² • 25 keimfähige Körner/m² Faktor Untersaat: <ul style="list-style-type: none"> • Perserklée, 30 % der Reinsaatstärke • Mischung mit Phacelia • Kontrolle ohne Untersaat 	Straubing

Im Saadichte-Versuch in Straubing war der Feldaufgang von Sorghum sehr gut, für die Untersaaten wurde jedoch der schlechteste Aufgang über alle Versuche verzeichnet. Dies mündete in einer um gut 10 Tage verzögerten Entwicklung der Untersaaten, von denen am 08.07.2022, dem Blühbeginn der anderen produktionstechnischen Versuche, keine blühte. Zuerst blühten die Phacelia-Varianten mit 10 und 15 Sorghumkörner/m² ab dem 18.07.2022. Der Perserklée blühte im Vergleich zu den anderen Versuchen ebenfalls erst am 18.07. sehr spät und spärlich, dann aber sehr lange bis Mitte August. Beide Untersaaten waren gut entwickelt und konnten zum Ertrag beitragen. Aufgrund der beschriebenen Entwicklungsverzögerung der Phacelia-Mischung trat in diesem Versuch keine ersichtliche Konkurrenz um Wasser auf, am Sorghum wurde kein Blattrollen wie im Gemenge-Versuch festgestellt. In Rauschholzhausen hingegen bestand eine starke Konkurrenz um Wasser. Die Bestände der niedrigeren Saadichten mit 10 und 15 Sorghumkörnern/m² zeigten eine üppigere Entwicklung und bessere Blühleistungen der Untersaaten als die Bestände mit höheren Saadichten, die Untersaaten blühten etwas früher und auch länger. Die Saadichten machten sich ebenfalls optisch im Habitus des Sorghums bemerkbar, bei geringerer Saatstärke waren die Sorghumpflanzen kompakter, nahezu gestaut, aber kräftiger.

Den höchsten Ertrag in Straubing lieferte die Kontrollvariante 25 Sorghumkörner/m² mit 186,9 dt TM/ha, allerdings war sie nur zu den Varianten Perserklée- und Phacelia-Mischung mit jeweils 10 Sorghumkörnern/m² signifikant unterschiedlich, die 46,7 bzw. 142,3 dt TM/ha erzielten (Abb. 28). Alle anderen Varianten (Kontrolle mit 20, 15 und 10 Sorghumkörnern/m², alle Perserklée-Varianten und die Phacelia-Mischungen mit 25, 20 und 15 Sorghumkörnern/m²) lagen ertragsmäßig dazwischen und unterschieden sich nicht untereinander, aber von der Phacelia-Mischung mit 10 Sorghumkörner/m² signifikant. Bezüglich der Trockensubstanzgehalte ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den Saadichten. Dabei erzielte die Saadichte von 25 Sorghumkörnern über alle Untersaat-Varianten einen Trockensubstanzgehalt von 43,2 %, Saadichte 20 Sorghumkörner 42,2 %, Saadichte 15 Sorghumkörner 41,2 % und abschließend Saadichte 10 Sorghumkörner einen Trockensubstanzgehalt von 39,9 %.

Die Erträge in Rauschholzhausen sind mit einer gewissen Unsicherheit belastet, da sich bei der Aussaat ein Schlauch der Sämaschine gelöst und zu fehlenden Reihen geführt hatte, so dass für diesen Versuch statt 48 nur 36 Parzellen mit nicht-orthogonaler Wiederholungsanzahl ausgewertet werden konnten. Auch in Rauschholzhausen erreichten die Kontrollen die höchsten Trockenmasseerträge, dabei schnitt die Kontrolle mit 25 Sorghumkörnern/m² mit 172,2 dt TM/ha tendenziell am besten ab. Darauf folgten die weiteren Kontrollvarianten mit 167,0 dt TM/ha bei 20 Sorghumkörnern/m², 157,5 dt TM/ha bei 15 Sorghumkörnern/m² und 147,8 dt TM/ha bei 10 Sorghumkörnern/m². Die Varianten mit der Phacelia-Mischung fielen im Vergleich sehr stark ab und lagen in einem Ertragsbereich von nur 50,6 bis 61,0 dt TM/ha.

Die Daten zu den Trockensubstanzgehalten zeigte sich in Rauschholzhausen anders als in Straubing keinen Einfluss der Saaddichte, aber ein signifikanter Unterschied zwischen den Untersaaten. Dabei erreichte die Phacelia-Mischung über alle Saaddichten mit 36,6 % den höchsten Trockensubstanzgehalt und unterschied sich signifikant den anderen Untersaaten (Kontrollvarianten im Mittel 33,4 % TS und Perserklee-Varianten durchschnittlich 33,0 % TS).

Am Standort Trossin waren die Trockenmasseerträge deutlich niedriger als in Straubing oder Rauschholzhausen. Wie an diesen anderen Standorten waren die Kontrollvarianten tendenziell ertragreicher als die entsprechenden Saaddichte-Varianten mit Untersaat. Die anscheinend geringsten Erträge wurden mit 65,3 dt TM/ha für Perserklee mit 10 Sorghumkörnern/m² und mit 62,1 dt TM/ha für die Phacelia-Mischung mit ebenfalls 10 Sorghumkörnern/m² bestimmt. Die niedrigen Trockenmasseerträge resultierten aus der extrem trockenen Witterung, auf die das Sorghum mit einem Wachstumsstopp reagierte. Durch weiterhin fehlende Niederschläge bis zur Ernte konnte das Sorghum keine Biomasse mehr bilden und vertrocknete auf dem Feld. Dies erklärt, von fehlerhafter Probenverarbeitung abgesehen, wahrscheinlich auch die exorbitant hohen Trockensubstanzgehalte, für die ebenfalls keine signifikanten Faktoreinflüsse oder Wechselwirkungen nachgewiesen wurden.

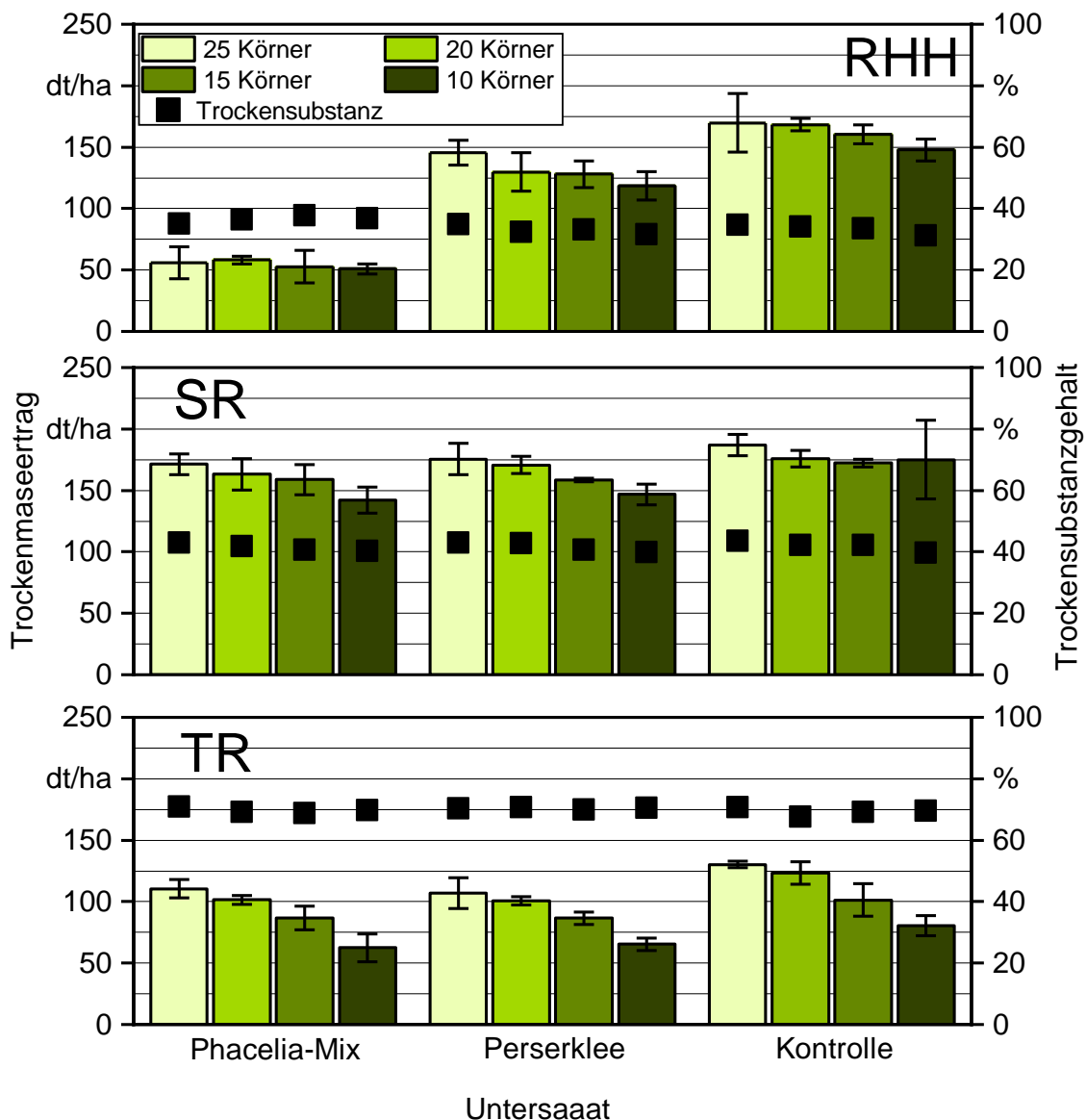


Abb. 28: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte im Saaddichte-Versuch an den Standorten Rauschholzhausen, Straubing und Trossin, Versuchsjahr 2022

Ein weiteres Augenmerk dieses Versuchs lag auf der Bestockung des Sorghums. Generell wird davon ausgegangen, dass Sorghum umso stärker bestockt, je geringer der Pflanzenbestand ist. Dieses Kompensationsvermögen ist für die Bildung hoher Biomasseerträge häufig erwünscht, es wird im Fall von Körnersorghum hingegen aufgrund der dann verzettelten Abreife der Rispen mittels vergleichsweise hohen Saatkichten gezielt unterdrückt. Dafür wurden an den beiden Standorten Straubing und Rauschholzhausen alle Bestockungstriebe mit Rispenansatz kurz vor der Ernte gezählt (Abb. 29).

In Straubing zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Saatkichten bezüglich der Bestockungstriebe und keine Wechselwirkungen zwischen Saatkichte und Untersaatvarianten. Im Mittel erzielte die Saatkichte von 25 Sorghumkörnern/m² eine Rispenanzahl von 202,3 Rispen je Parzelle und unterschied sich damit signifikant von den Saatkichten 15 Sorghumkörner/m² mit 169,8 Rispen und 10 Sorghumkörnern/m² mit 157,3 Rispen.

Die Bestockung war in Rauschholzhausen wesentlich höher als in Straubing, daher mussten in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** unterschiedliche Achsenskalierungen verwendet werden. Die meisten Bestockungstriebe wurden in der Variante Perserklee mit 25 Sorghumkörnern/m² mit 280 Rispen/Parzelle gezählt, die geringsten Bestockungen erreichten die Varianten mit Phacelia-Mischungen im Bereich von 141 für 25 Sorghumkörner/m² bis 115 bei 10 Sorghumkörnern/m².

Da die Aussaatstärke von Sorghum kaum signifikanten Ertragseinfluss zeigte, und sich die Untersaaten bei geringer Sorghum-Saatstärke üppiger entwickelten, kann mit einer niedrigeren Zielpflanzenzahl von Sorghum das Blütenangebot der Untersaaten gefördert werden. Vermutlich stellt eine Aussaatstärke von 15 bis 20 keimfähigen Sorghumkörnern/m² einen guten Kompromiss zwischen abgesichertem Biomasseertrag und guter Blühleistungen dar. Niedrigere Aussaatstärken sind dagegen nicht zu empfehlen, da die Biomasseleistung des Sorghums durch die dann zu gut entwickelten Untersaaten leidet. Auch der vergleichsweise ungleichmäßige und im Vergleich zu anderen Kulturen unzuverlässigere Feldaufgang von Sorghum spricht gegen zu geringe Saatkichten, um Lücken in den Beständen zu verhindern.

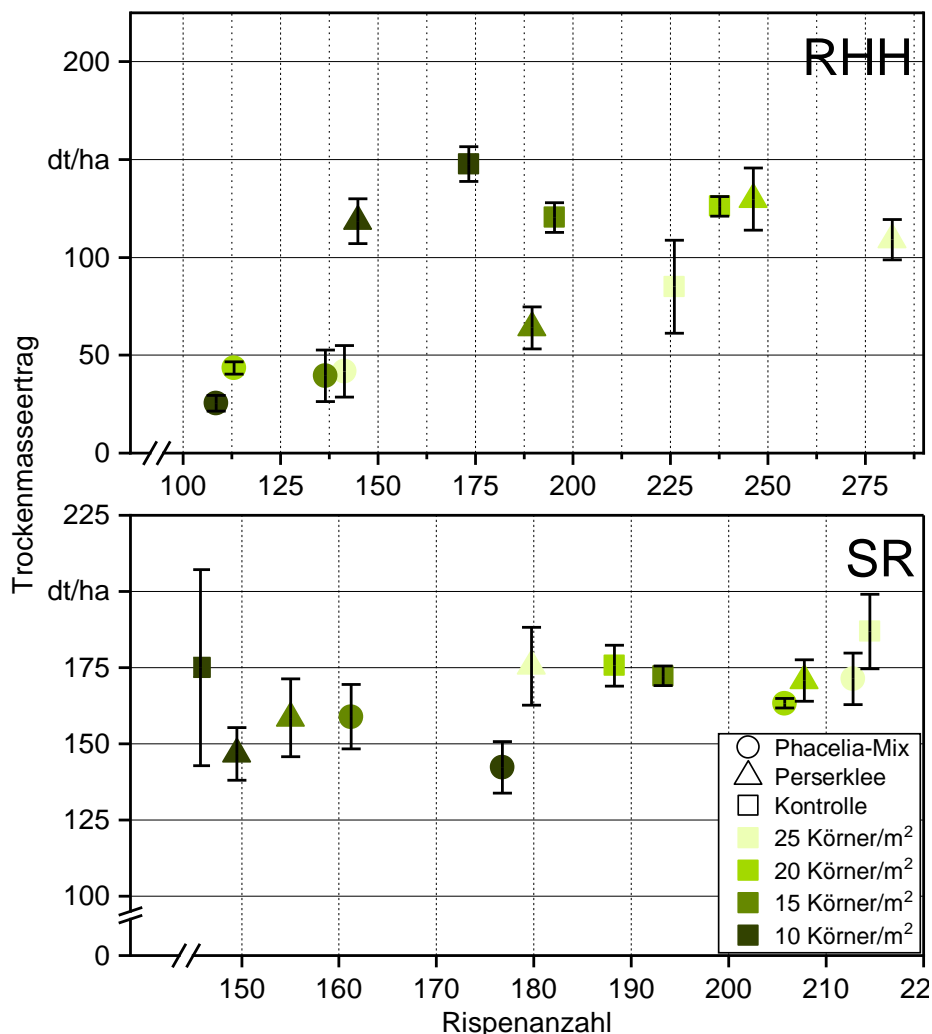


Abb. 29: Rispenanzahl von Sorghum in Korrelation zum Trockenmasseertrag im Saatkichte-Versuch 2022 an den Standorten Rauschholzhausen und Straubing, durch die verschiedenen Bestockungsraten an den Standorten sind die Skalierungen der X- und Y-Achsen sehr unterschiedlich

Weitere Versuche und Analysen am Standort Straubing (TFZ)

Neben diesen Feldversuchen wurde durch umfangreiche **Analysen des mineralischen Stickstoffgehalts** (N_{\min}) im Boden zum Vegetationsende (nach Durchführung der Versuche) das Potenzial verschiedener Varianten aus den produktionstechnischen Versuchen sowie aus dem Kernversuch für den Gewässerschutz untersucht. Aufgrund der über alle drei Projektjahre extrem hohen Variantenzahl wurden nicht, wie ursprünglich vorgesehen, alle analysiert. Stattdessen erfolgte die Auswahl der beprobten Varianten in jedem Jahr so, dass eine größtmögliche Variabilität der Ergebnisse zu erwarten war: hohe Parzellenerträge vs. geringere Ertragsleistung, legume vs. nichtlegume Untersaaten, mitbeerntbare Untersaaten vs. nicht beerntete Untersaaten; hohe vs. geringe Bodenbedeckung der Untersaaten etc.

Im Jahr 2020 konnten aufgrund der Unkrautproblematik nur einzelne Parzellen auf N_{\min} analysiert werden. Die ermittelten Werte lagen in einem Bereich von 27 bis 122 kg N/ha, wobei die Unterschiede mangels Wiederholungen und wegen der untypisch verunkrauteten Bestände nicht statistisch absicherbar oder erklärbar waren. Innerhalb des Grasbeimengungs-Versuchs sowie des Zweijährigen Kernversuchs schwankten die N_{\min} -Werte nur zufällig in geringem Rahmen. In den für den Stip-Till-Versuch bereits etablierten Untersaaten wurden für Weißklee 46 und für Landsberger Gemenge 49 kg N/ha ermittelt, während der Wert für Schwedenklee bei sehr hohen 122 kg N/ha lag. Die Variante ohne Untersaat, also ganz ohne Bewuchs, hatte den gut erklärbaren N_{\min} -Wert von 102 kg N/ha.

Zum Vegetationsende 2021 lag der Fokus für die parzellenscharfen (also alle Wiederholungen der entsprechenden Varianten beprobt) Bodenproben für N_{\min} auf legumen sowie biomassestarken Untersaaten wie beispielsweise Sonnenblume. Dies war schwierig zu bewerkstelligen, da sich die Untersaaten in 2021 wie beschrieben nur sehr schwach entwickelt hatten. Im Gemenge-Versuch konnten keinerlei statistisch abgesicherte Unterschiede festgestellt werden, die Schwankungsbreite der N_{\min} -Werte war mit einer Spanne von 21 bis 49 kg N/ha vergleichsweise gering. Dasselbe galt auch für den Reihenweite-Versuch, in dem nur die Varianten mit Sorghum-Reinbestand und Sonnenblumen (beiden auf 37,5 cm Reihenweite) beprobt wurden. Die höchsten N_{\min} -Gehalte bis 95 kg N/ha wurden für den Kernversuch verzeichnet, allerdings leider meist uneinheitlich über die beiden Wiederholungen der Varianten und Sorghumsorten. Insgesamt konnte nur abgeleitet werden, dass gut entwickelte Untersaaten/Begleitkulturen bzw. Gesamtbestände tendenziell dazu führten, dass zum Vegetationsende weniger Rest-Stickstoff im Boden verblieb, ohne dass legume Untersaaten sich durch eine Anreicherung von N abzeichneten.

Das Jahr 2022 war bezüglich möglicher Aussagen zu den N_{\min} -Werten leider ebenfalls unbefriedigend, die N-Gehalte bewegten sich in einem eher niedrigen Bereich von 17 bis maximal 53 kg N/ha, wobei nur vier Werte über 40 kg N/ha verzeichnet wurden. Dies ist vor allem auf die verhaltene N-Versorgung der Versuche zurückzuführen. Es kann insgesamt festgehalten werden, dass legume Untersaaten nicht zu einer Anreicherung von N im Boden führten und dass nur in Einzelfällen gewässergefährdende N_{\min} -Gehalte gemessen wurden.

Nachdem sich herausstellte, dass die N_{\min} -Werte trotz der gezielten Variantenauswahl entweder eine weniger hohe Varianz zeigten als erwartet oder in unerklärbar hohem Maße streuten, wurde das Analysenvolumen auch in den folgenden Jahren nicht weiter ausgedehnt. Stattdessen wurde zusätzlich mittels **Weender Analyse** versucht, Qualitätsunterschiede der erzeugten Biomasse für jene Varianten aufzuzeigen, in denen wesentliche Anteile des gehäckselten Ernteguts aus Untersaaten bestanden. Diese Untersuchungen wurden durch die Batchanalysen zur Biogasausbeute an der JLU flankiert (s. u.).

Im Jahr 2021 zeigten sich die um die wichtigsten Nährstoffgehalte erweiterten Weender/van Soenst Analysen leider sehr inhomogen. Proben mit denselben Untersaaten wiesen erhebliche und unerklärbare Unterschiede bezüglich Rohprotein-, Rohfett- und Rohfasergehalten auf. Da dies auch das Jahr mit nur sehr schwach entwickelten Untersaaten war, ist davon auszugehen, dass diese kaum Ertragsanteile beisteuerten und daher auch keinen merkbaren Einfluss auf die Substratqualität haben konnten. Lediglich bei Gruppierung aller 25 Proben nach den Sorghumsorten RGT Swingg (in den produktionstechnischen Versuchen) sowie Vilomene und Voyenn zeigten sich tendenzielle Qualitätsunterschiede des Häckselguts: die Rohprotein- und Rohfettgehalte sowie die Gehalte an Stickstofffreien Extraktstoffen (NfE) waren bei Sorghumsorte RGT Swingg am geringsten, die Rohfaser-, NDF-, ADF- sowie Magnesiumgehalte am höchsten. Dagegen zeigte sich für Sorghumsorte Voyenn das gegenteilige Bild: in Summe höhere Rohprotein-, Rohfett-, NfE-, Phosphor- sowie Kaliumgehalte und geringe Rohfaser-, NDF-, ADF- und Magnesiumgehalte. Die Proben von Sorghumsorte Vilomene fielen bezüglich dieser Merkmale uneinheitlich aus, hoben sich jedoch mit höheren ADL-Gehalten etwas ab.

Nach der Saison 2022 wurden insgesamt 26 einzelne Pflanzenproben (254 vom Standort Straubing, 2 vom Standort Rauschholzhausen) zur Kosteneinsparung zur einfachen Weender Analyse eingereicht. Dabei stellten sich die Varianten mit Sonnenblumen (je 1 Korn/m², Reihenweiten 16 und 37,5 cm) des Gemenge-Versuchs erwartungsgemäß mit 4,34 und 4,63 % Rohproteingehalt in der Trockensubstanz

als fettreichste Substrate dar. An dritter Stelle lag mit 3,96 % Rohfett i.d.TS eine Buchweizenvariante mit versetzter Saat aus dem Aussaatzeitpunkt-Versuch. Leider konnte in der aus demselben Versuch zeitgleich mit Sorghum gesäten Buchweizen-Untersaat kein höherer Rohfettgehalt nachgewiesen werden. Vermutet wird, dass der Buchweizen durch die frühere Saat zur Ernte weiter abgereift und die Körner bereits größtenteils ausgefallen waren und daher nicht erfasst wurden. In dieser letztgenannten Variante lagen die Rohfasergehalte von allen Straubinger Proben mit 31,3 % i.d.TS am höchsten, was ebenfalls für eine fortgeschrittene Abreife des Buchweizens spricht. Vom Standort Rauschholzhausen wurden nur zwei Proben analysiert, da das Probenmaterial durch zu dichtes Packen während der Trocknung schimmelte. In diesen Proben mit Phacelia (12 cm Reihenweite) und Perserklee (37,5 cm Reihenweite) aus dem Gemengeversuch wurden hohe Gehalte an Rohfaser (34,2 bzw. 29,2 %) und mit Abstand die höchsten Rohproteingehalte (8,8 bzw. 8,1 % i.d.TS) ermittelt. Vermutlich sind die unerklärbar hohen Rohproteingehalte auf die Besiedlung der Proben mit Mikroorganismen und Schimmelpilzen zurückzuführen. Auf dieser Datenbasis konnten keine Qualitätsvorteile des Sorghumanbaus mit Untersaaten abgeleitet werden.

Untersuchungen zur Biogas- bzw. Methanausbeute selektierter Varianten

Auf Grund der sehr schlecht etablierten Untersaaten im Versuchsjahr 2021 wird die Biogasausbeute für dieses Versuchsjahr nicht beschrieben, und die folgende Darstellung beschränkt sich auf die Ergebnisse des produktionstechnischen Versuchs 2022. Von den jeweiligen Varianten wurde bei der Ernte in Straubing eine ausreichende Probenmenge eingefroren, im folgenden Winter nach Rauschholzhausen zur Biogasanlage der JLU gebracht und dort analysiert. Die Analyse erfolgte aufgrund der Probenmenge ein zwei separaten Zyklen. Je Zyklus wurde der gleiche Maisstandard (Maissilage aus Rauschholzhausen, nicht aus dem Versuch in Straubing) als Referenz mituntersucht und für die Adjustierung der Ergebnisse beide Zyklen zueinander genutzt. Jede Variante wurde in drei biologischen Wiederholungen geprüft.

Im **Aussaatzeitpunkt-Versuch** konnten hochsignifikante Unterschiede im Methangehalt (lN/kg oTS) der einzelnen Varianten festgestellt werden (Abb. 30). Den höchsten Methangehalt erzielte die Variante mit Perserklee in zeitversetzter Aussaat nach Sorghum, gefolgt von dem Phacelia-Mix in ebenfalls zeitversetzter Aussaat. Bemerkenswerterweise belegten Perserklee und Phacelia-Mix bei gleichzeitiger Aussaat mit Sorghum die beiden letzten Plätze. Der spätere Aussaattermin der Untersaat scheint somit tendenziell besser für die Methanausbeute zu sein. Auch zeigte sich kein *per se* negativer Einfluss der Untersaat auf die Methanausbeute, die Variante ohne Untersaat lag diesbezüglich im Mittelfeld.

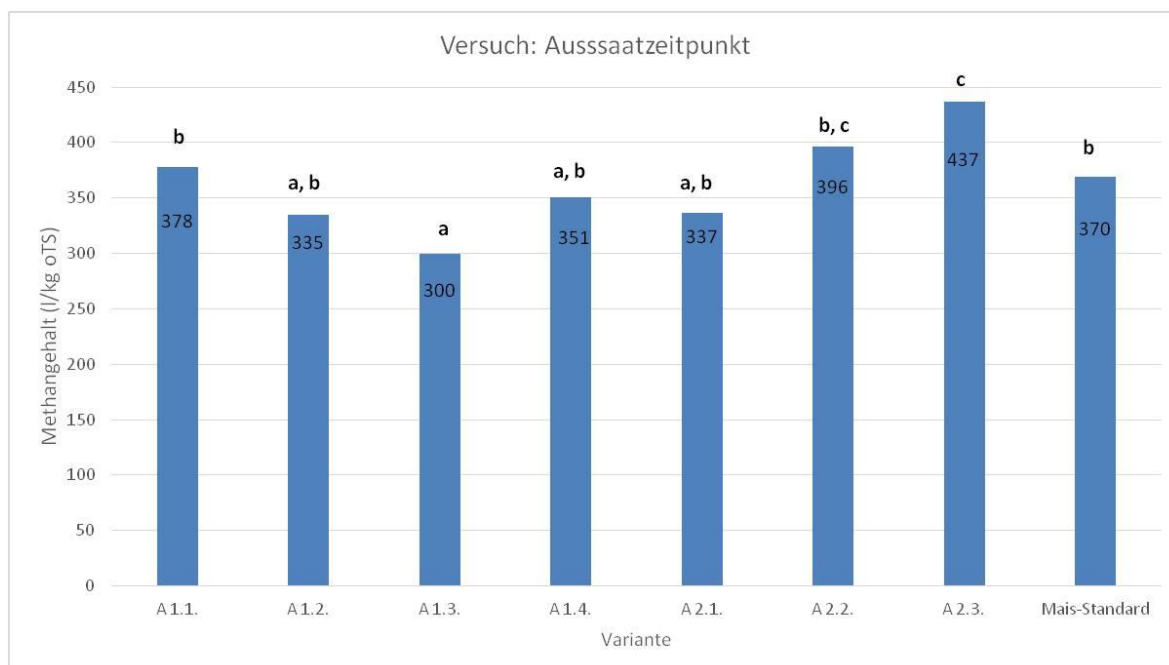


Abb. 30: Methangehalte (lN/kg oTS) des produktionstechnischen Versuchs "Aussaatzeitpunkt, Straubing 2022". A1.1.: Buchweizen-Mix, zeitgleich; A1.2.: Phacelia-Mix, zeitgleich; A1.3.: Perserklee, zeitgleich; A1.4.: Kontrolle (Sorghum ohne Untersaat); A2.1.: Buchweizen-Mix, zeitversetzt; A2.2.: Phacelia-Mix, zeitversetzt; A2.3.: Perserklee, zeitversetzt

Im **Gemenge-Versuch** wurden einzelne erfolgsversprechende Varianten beprobt, und Unterschiede im Methangehalt auf 0,05-Signifikanzniveau festgestellt. Hier erbrachte die Kontrolle (Sorghum ohne Untersaat) mit einem Reihenabstand von 37,5 cm den höchsten Methangehalt mit 376 lN/kg oTS . Den zweithöchsten Methanertrag von 369 lN/kg oT erbrachte die Phacelia-Mischung mit einer Reihenweite

von 16 cm. Die niedrigsten Methangehalte wurden bei Buchweizen (16 und 37,5 cm Variante) und der Kontrolle (Sorghum ohne Untersaat) in der engen Reihenvariante (16 cm) gemessen.

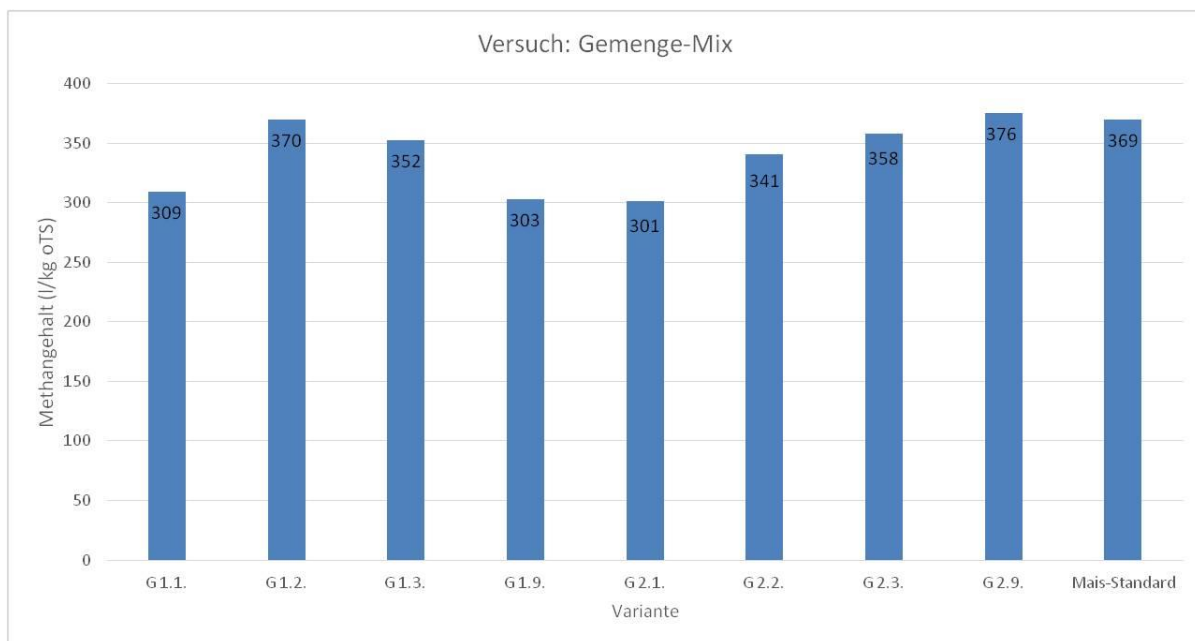


Abb. 31: Methangehalte (l/kg oTS) des produktionstechnischen Versuchs "Gemenge-Mix, Straubing 2022". G1.1: Buchweizen, 16cm; G1.2: Phacelia, 16cm; G1.3: Perserklee, 16cm; G1.9: Sorghum ohne Untersaat, 16cm; G2.1: Buchweizen, 37cm; G2.2: Phacelia, 37cm; G2.3: Perserklee, 37cm; G2.9: Sorghum ohne Untersaat, 37cm

Im **Saadichte-Versuch** wurden alle Varianten bis auf die 10 Körner/m² auf die Biogas- und Methanausbeuten analysiert, da diese Varianten weniger interessant für die Praxis erscheinen und die Kapazitäten für Biogasanalysen ausgeschöpft waren. Signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten konnten hier allerdings nicht ermittelt werden, so dass auf eine detailliertere Darstellung verzichtet wird. Den tendenziell höchsten Methanertrag lieferte die Kontrolle (Sorghum ohne Untersaat) mit 20 keimfähigen Körnern

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die hier dargestellten Methangehalte aufgrund der teilweise hohen Standardabweichung zwischen den einzelnen biologischen Wiederholungen eher als Tendenz denn als absolute Werte gesehen werden sollten. Die hohe Methanausbeute von Sorghum-Dualtypen auf Maisniveau oder sogar leicht darüber ist bei vollem Kornansatz und ausreichender Kornreife, wie sie nach dem warmen Sommer 2022 der Fall war, nicht überraschend, sondern bestätigt die Ergebnisse von z. B. Windpassinger et al. (2015). Die Anteile der Untersaat am Häckselgut bzw. Substrat waren mit der Ausnahme von Buchweizen nach optischer Einschätzung gering. Daher sind signifikant unterschiedliche Methanausbeuten vorrangig auf unterschiedliche Entwicklungen bzw. Inhaltsstoffzusammensetzung des Sorghums (cv. *Swingg*) zurückzuführen. Bei starken Konkurrenzeffekten durch die Untersaaten ist mit kleineren Rispen und somit geringeren Stärkenanteilen zu rechnen, welche sich negativ auf die Methangehalte auswirken. Dies könnte erklären, warum beim Aussaatzeitpunkt-Versuch die spätere Aussaat der Untersaat nach Sorghum verglichen mit der zeitgleichen Aussaat der gleichen Kombinationen vorteilhaft war.

Optimierung des Misanbaus mit photoneutralen Lablab-Akzessionen

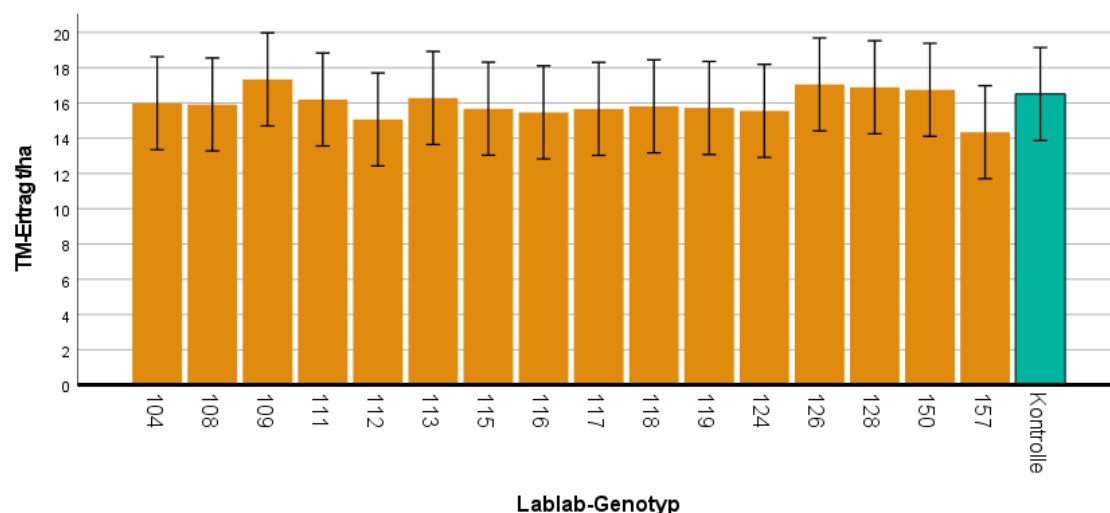
Die Ergebnisse und Beobachtungen des mehrortigen Kernversuchs zeigten, dass Lablab-Bohnen (*Lablab purpureus*, auch als Helmbohnen bezeichnet) eine interessante Kulturart für den Misanbau mit Sorghum darstellen: Sie bewirkten keine negativen Ertragseffekte, bedeckten den Boden zur Jugendentwicklung des Sorghums schnell und vollständig und zeigten im weiteren Verlauf eine harmonische Entwicklung mit Sorghum ohne Anzeichen von Trockenstress. Allerdings kamen die im Kernversuch angebauten Lablab-Genotypen nicht in die Knospenbildung oder Blüte, so dass leider der beabsichtigte Mehrwert des Misanbaus für Insekten nicht gegeben war. Vermutlich handelte es sich hier um photosensitive Herkünfte, bei denen entsprechend der tropischen Herkunft der Lablab-Bohnen (Ostafrika und Indien) erst bei einer Tageslänge von 12h oder weniger die Induktion der generativen Entwicklung stattfindet. In unseren Breiten ist zu diesem Zeitpunkt (Ende September) dann die Temperatur und verbleibende Vegetationszeit für Sommerkulturen zu gering für die Blüte.

Literaturrecherchen unsererseits ergaben, dass glücklicherweise eine größere Anzahl von auch in Europa blühenden Akzessionen beschrieben ist, und in den 1990er Jahre an der Uni Göttingen (Dr. Maass) zu diesem Thema geforscht wurde. Von Dr. Maass erhielten wir auf Anfrage dankenswerterweise das aus diesen Forschungen verbleibende Saatgut von 57 verschiedenen Akzessionen. Zur Vermehrung und Bonitur bauten wir knapp 40 dieser Akzessionen im Sommer 2022 in den Folienhäusern der Versuchsstation Groß-Gerau als Lablab-Monokultur ohne Sorghum an. Etwas mehr als 20 dieser Herkünfte blühten in den Folienhäusern. Diese Akzessionen setzten mit Ausnahme weniger Herkünfte Früchte an.

16 Akzessionen, welche aufgrund ihrer Eigenschaften (frühe Blüte und großer Blühreichtum) für das Projekt interessant erschienen, wurden dann 2023 in Groß-Gerau und Rauschholzhausen im Mischanbau mit Sorghum (cv *Vilomene*) getestet. Als Versuchsanlage wurde an beiden Orten eine 2-fach wiederholte Leistungsprüfung gewählt, in der *Vilomene* zusätzlich zum Mischanbau mit den verschiedenen Lablab-Akzessionen auch in Monokultur geprüft wurde. Jede Parzelle bestand aus 4 Reihen Sorghum, von denen nur die beiden Kernreihen beerntet wurden. Die Aussaatstärke von *Vilomene* wurde mit 18 keimfähigen Körnern/qm angesetzt und lag somit nur gering unter den Empfehlungen für den Anbau als Monokultur. Zeitgleich mit dem Sorghum wurden in geringem Abstand (ca. 5-10 cm) zu beiden Kernreihen die Lablab-Bohnen gesät (5 Samen je laufenden Meter). Um die Attraktivität der Lablab-Bohnen für Honigbienen zu erfassen, wurden seitens des Bieneninstituts an beiden Orten Bienenvölker aufgewandert.

Aufgrund der starken Frühsommertrockenheit 2023 war der Aufgang der Lablab-Bohnen in Rauschholzhausen trotz Vorquellen leider lückenhaft und verzögert. Nur in wenigen Parzellen konnten die Bohnen dort einen annähernd geschlossenen Bestand ausbilden, und die Blühdichte war insgesamt gering, obwohl die Blüte der Lablab-Bohnen bereits Anfang August vor dem Sorghum einsetzte. Demgegenüber war der Aufgang der Bohnen in Groß-Gerau dank Beregnung vollständig und zügig, und sie entwickelten sich im weiteren Verlauf üppig und mit großem Blühreichtum. Die bei den tropischen Herkünften festgestellte starke Blattmassebildung in der Jugendentwicklung, welche zu einer schnellen und erwünschten Bodenbedeckung führt, war leider bei den hier getesteten photoneutralen Akzessionen weniger ausgeprägt. Möglicherweise wäre daher der Test von Lablab-Sortenmischungen sinnvoll, um die beiden gewünschten Eigenschaften (Blühreichtum und schnelle Bodenbedeckung) miteinander zu kombinieren. Transsekte in den Parzellen wurden im August und September wöchentlich abgeschritten, um die Anzahl der blütenbesuchenden Insekten an den Lablab-Blüten zu ermitteln. Mit Ausnahme weniger Holzbohlen und einzelner Hummeln wurden keine Insekten an den Helmbohnenblüten beobachtet.

Hinsichtlich des Parzellen-Ertrags (gemeinsame Biomasse-Ernte von Sorghum und Lablab) und Trockensubstanzgehalts zeigten die getesteten Lablab-Akzessionen an beiden Orten keinerlei signifikante Effekte, weder im Vergleich untereinander, noch im Vergleich zu den Parzellen mit Sorghum-Monokultur. Das Ertragsmittel des Mischanbaus lag in Groß-Gerau bei 16 t Trockenmasse und in Rauschholzhausen bei 15,2 t Trockenmasse je ha.



Fehlerbalken: 95% CI

Abb. 32: Erträge (t Trockenmasse/ha) des Mischanbaus verschiedener Lablab-Akzessionen mit Sorghum cv. *Vilomene*, sowie *Vilomene* in Monokultur („Kontrolle“), Groß-Gerau 2023. Zwischen den einzelnen Varianten ergaben sich keinerlei statistisch signifikante Unterschiede

Diese Versuchsergebnisse unterstreichen die Eignung von Lablab-Bohnen für den Mischanbau mit Sorghum, da es auch bei üppigem Wachstum der Bohnen zu keinerlei negativen Effekten auf den Gesamtertrag kommt. Analog zu den bereits etablierten Mais/Feuerbohnen-Gemengen scheint der Sorghum/Lablab-Mischanbau daher eine realistische Option für die Praxis. Eine eventuelle Ertragsreduktion der Hauptfrucht Sorghum wird durch die zusätzliche Biomasse der Bohnen kompensiert. Mit verstellten Säscharen ist eine maschinelle Aussaat in zwei Arbeitsgängen, welche auch eine tiefere Ablage der Bohnen erlauben, möglich. Ebenso wäre das Pillieren des Saatguts eine Option für die Praxis. Weiterer Forschungsbedarf besteht dahingehend, ob durch den zusätzlichen Proteineintrag der Bohnen die Methanausbeute des Substrats verbessert wird. Sollte dies der Fall sein, würde der Sorghum-Lablab Mischanbau bei gleichem Trockenmasse-Ertrag eine höhere Methanausbeute je Flächeneinheit erzielen.



Abb. 33: Weißblühende Lablab-Akzession mit Blüten und bereits ausgebildeten Hülsen im Mischanbau mit Sorghum cv. Vilomene, Groß-Gerau, September 2023

Arbeitspaket 3: Untersuchung der Wertigkeit der selektierten Kombinationen für Bienen und andere Insekten in zweijährigen, großflächigen Versuchen

Flugzeltversuche

Die nutritive Wertigkeit der Sorghum- Trachtpflanzengemenge wurden in 2021 und in 2022 auf den Versuchsflächen der JLU Giessen in Flugzelten geprüft (Abb. 33). Insbesondere sollte der Nutzen einer nektarliefernden, bunten Bienenweidepflanze im Gemengeanbau mit Sorghum getestet werden. Der Versuch umfasste 6 Varianten in dreifacher Wiederholung:

S. bicolor + *P. tanacetifolia* (SB+PT).

S. bicolor + *T. hybridum* cv. Dawn (SB+TH, in 2021) bzw. *T. michelianum* cv. (SB+TM, in 2022).

S. bicolor + *T. alexandrinum* cv. Alex (SB+TA)

S. bicolor Alleinsaat (SB)

Nullkontrolle: Zelte ohne Vegetation (00)

Positivkontrolle: freifliegende Versuchsvölkchen im Sorghum - Kleefeld (FR)

In 2021 wurde die Sorte ‚Swingg‘ des Zuchthauses R.A.G.T. (Rodez, Frankreich) und in 2022 die Sorte ‚Vilomene‘ (DSV, Lippstadt, Deutschland) angebaut. In 2021 wurden die Parzellen auf dem Versuchsgut Rauschholzhausen angelegt. In 2022 wurden die Versuch sowohl auf dem Versuchsgut Rauschholzhausen und der Versuchsstation Groß-Gerau angelegt. Der Versuch wurde auf beiden Standorten durchgeführt, um mindestens einen datenliefernden Standort zu haben, falls eine kühle Sommerwitterung eine ausreichende Blütenentwicklung am Stresstandort Rauschholzhausen gefährden sollte.

Als Nullkontrollen wurden die Völkchen in 16 m² großen Zelten, in denen der Aufwuchs blühender Pflanzen mechanisch unterdrückt wurde, verwendet. Für die Testvarianten (s. o.) und die Kontrollvariante SB ohne Mischungspartner wurden jeweils drei Parzellen zu je 100 m² angelegt und mit bienendichten Flugzelten überspannt (Abb. 34). Die Völkchen wurden aus 0,5 kg schweren Kunstschwärmen mit jungen, in Eilage befindlichen Geschwisterköniginnen in Mini Plus® Kästen aufgebaut. Die Königinnen hatten sich auf der Belegstelle Gehlberg verpaart, so dass die genetische Variation zwischen den Völkchen so niedrig wie möglich gehalten wurde. Vor Blühbeginn Ende Juli wurden die Völkchen auf der Versuchsfläche bzw. in den Zelten aufgestellt. Die Einheiten wurden bei einer kritischen kalorischen Mangelsituation mit Zuckersirup versorgt. Die Pollenversorgung bestand ausschließlich aus den im Zelt verfügbaren Pflanzen. Zeichnete sich der Zusammenbruch einzelner Völkchen auf Grund einer zu geringen Bienenmasse ab, wurden alle Einheiten einheitlich mit einer Kelle Bienen von extern verstärkt. Im Abstand von 7 Tagen wurden die Völkchen bis Ende September insgesamt 8-mal bonitiert. Die Masse der erwachsenen Bienen je Einheit wurde über Bestimmung des Gewichts der Kästchen mit und ohne Bienen bestimmt (Budge et al. 2015; Delaplane et al. 2013). Alle Waben wurden digital fotografiert. Mit Hilfe der Software HiveAnalyzer® wurde die Anzahl der Zellen mit gedeckelter Brut sowie der Zellen mit Bienenbrot und mit Futter ermittelt (Höferlin und Höferlin 2021). Als Kriterium der Sammelaktivität wurde die Zahl der ein- und ausfliegenden Bienen genutzt. Die Anzahl der Blütenbesuche wurde gezählt. Jede Parzelle wurde mittig in Längsrichtung für 5 Minuten abgescritten, wobei jeder beobachtete Blütenkontakt festgehalten wurde.



Abb. 34: Drohnenaufnahme der Versuchsanlage mit den Flugzelten in Rauschholzhausen in 2021, im Vordergrund rechts: die drei Zelte der Nullkontrolle mit dem Versuchsbienenvölkchen; links davon: die drei frei fliegenden Völkchen, dahinter die Zelte mit den Sorghum - Trachtpflanzengemengen. Foto:

Lukas Förter

Die Zählwerte wurden volksweise über die 8 Termine aggregiert. Multiple Mittelwertvergleiche wurden mit der Prozedur glm univariate in SPSS ausgeführt. Um ein ranking der einzelnen Gemenge ermitteln zu können, wurden die Versuch beider Jahre getrennt voneinander statistisch ausgewertet (siehe Tab. 13).

Bienen mit Zugang zu Sorghum – Blühhgemengen hatten im Versuchsjahr 2022 signifikant mehr Brut aufgezogen als jene, die nur Sorghum in Alleinkultur befliegen konnten, oder jene, die gar keinen Zugang zu einer Bienenweidepflanze hatten (siehe Tab. 13). Michelsklee-Sorghumgemenge und Phacelia-Sorghumgemenge unterstützten die Brutaufzucht signifikant besser als Sorghum im Alleinanbau ($p < 0,05$, glm nach $\lg(x+1)$ -Transformation).

Die Unterschiede zwischen den beiden Jahren 2021 und 2022 waren signifikant ($p < 0,01$, glm nach $\lg(x+1)$ Transformation). Die kühl-feuchte Witterung aus 2021 führte zu später und ungenügender Blüte (Sorghum-Vollblüte BBCH 65 Mitte Sept. KW 38, Klee: fast keine Blüte, Phacelia BBCH 65: Mitte August, KW 32). Der Sommer 2022 war heiß und trocken, so dass den Bienen von der Hauptfrucht eine relevante Pollenmenge angeboten wurde. Sorghum stand Anfang bis Mitte August 2022 (KW 32 - 33) in Vollblüte (BBCH 65). Die Gemengepartner hatten ab Versuchsbeginn Mitte Juli 22 zahlreiche Blütenstände gebildet.

Tab. 11: Mittlere Anzahl gedeckelter Brutzellen in Abhängigkeit der Gemenge

Variante	2021		2022	
SB + TH / TM	33	a	389	c
SB + TA	26	a	204	bc
SB + PT	407	b	671	cd
Kontrollen:				
SB	34	a	95	b
00	17	a	1	a
Fr.	1131	c	1683	d
Gesamt	274		507	

Abk.: siehe Kapitel 2, Werte $\lg(x+1)$ transformiert. Mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnete Mittelwerte innerhalb einer Spalte sind statistisch signifikant verschieden ($p < 0,05$; glm univariate, Tukey-B, SPSS).



Abb. 35: Blick in ein Flugzelt mit einem Phacelia – Sorghum – Gemenge und dem Versuchsvölkchen (rote Kiste, vorne) am 02.08.2021

Erträge:

Ertraglich war der Mischanbau mit gewissen Einbußen verbunden: In 2022 erzielte der Sorghum-Reinanbau knapp 14 t/ha Ganzpflanzen-Trockenmasse, die Variante Sb+Ta 11,4 t/ha und Sb+Tm 8,9 t/ha. Sb+Pt konnte nicht beerntet werden, da die Hauptfrucht durch Pt stark unterdrückt worden war.

Großparzellenversuche

Neben den Halbfreilandversuchen in den Flugzelten sollte der Wert der Gemenge als Bienenweide auch unter Realbedingungen überprüft werden. Dafür wurden an den beiden Standorten Rauischholzhausen (RAU) und LWZ Eichhof, Bad Hersfeld, (EIH) Großparzellen von jeweils ca. 1,5 ha Fläche mit Sorghum und Kleeuntersaat angelegt. Auf einem 3 km langen Transsekt wurden 8 Bienenstände mit je 3 Bienenvölkchen aufgestellt, so dass Stand 1 in der Sorghumfläche war und Stand 8 ca. 3 km von der Versuchsfläche entfernt war. Die anderen Stände wurden dazwischen auf der Linie verteilt. Bonitiert wurde an 8 Terminen im Abstand von jeweils 7 Tagen das Gewicht, die Brutanlage, die Volksstärke und der Versorgungszustand der Völker entsprechend der Liebefelder Methode (Imdorf et al., 1987; Dainat et al., 2020). An jedem Schätztermin wurden parallel die Pflanzenbestände bonitiert. Hier wurde die Höhe der Untersaat und des Sorghums, der Entwicklungsstand nach der BBCH Skala, die Anzahl Blüten / m² und die Anzahl der Blütenbesuche auf den Zielpflanzen erfasst. Pollen wurde vor, während und nach der Blüte der Sorghumgemenge geerntet und deren botanische Herkunft wurde mikroskopisch bestimmt. Außerdem wurde die Herkunft der Pollen mit dem barcoding Verfahren von der Firma Advanced Identification Methods GmbH (AIM, Leipzig) ermittelt. Dafür wurden die ITS Bereiche im Pollengenom verwendet. Der Versuch wurde in 2021 erstmals durchgeführt und in 2022 wiederholt.

Ziel der Großparzellenversuche war es, zu prüfen, ob Sorghum- Klee gemenge unter Realbedingungen eine wertvolle Nahrungsressource für Honigbienen darstellt. Es wurde angenommen, dass die Völker, die nah am Sorghum gemenge stehen, eine bessere Leistungsbilanz aufweisen als die weiter entfernt stehenden Versuchseinheiten.

Abweichend von der oben beschriebenen Versuchsanlage wurde die Versuchsanstellung auf Grund von Saatgutverfügbarkeit und anderer Umstände entsprechend modifiziert:

Versuch I: Jahr 2021, Standort EIH; Sorghumsorte *Swingg* (RAGT, Saaten Deutschland, Hiddenhausen); Untersaat Schwedenklee (Sorte *Dawn*, DSV, Lippstadt); Teilfläche mit Untersaat Alexandrinerklee (Sorte *Alex*, DSV Lippstadt); Pollenernte mit Hilfe von Pollenfallen, die für 24 h in die Böden eingelegt wurden; Ablegerbildung mit 2 Brutwaben mit ca. 1000 ansitzenden Bienen, einer frei verpaarten Königin aus 2021, einer Futterwabe und einer Leerwabe; Aufstellung auf 3 km Transsekt.

Versuch II: Jahr 2021, Standort RAU; Sorghumsorte *Swingg* (RAGT, Saaten Deutschland, Hiddenhausen); Untersaat Schwedenklee (Sorte *Dawn*, DSV, Lippstadt); Pollenernte mit Hilfe von Pollenfallen, die für 24 h in die Böden eingelegt wurden; Ablegerbildung mit 2 Brutwaben mit ca. 1000 ansitzenden Bienen, einer frei verpaarten Königin aus 2021, einer Futterwabe und einer Leerwabe. Aufstellung auf 3 km Transsekt.

Versuch III: Jahr 2022, Standort EIH; Sorghumsorte Vilomene (DSV, Deutsche Saatenveredelung AG, Lippstadt); Bildung von Kunstschwärmen aus 1000 g Bienen, einer frei verpaarten Königin aus 2022, 4 Leerwaben und einer Futtertasche, Pollenidentifikation über Sicherung von einem ca. 25 cm² großen Wabenstückchen mit Bienenbrot. Aufstellung auf 3 km Transsekt.

Versuch IV: Jahr 2022, Standort RAU; Sorghumsorte Vilomene (DSV, Deutsche Saatenveredelung AG, Lippstadt); Bildung von 30 Kunstschwärmen mit je 1000 g Bienen und einer frei verpaarten Königin aus 2022, 4 Leerwaben und einer Futtertasche, Einzelaufstellung der 30 Einheiten in einem ca. 3 km langen und bis zu 1 km breiten Korridor westlich des Sorghumschlages mit zufälliger Verteilung in der Fläche, keine Pollenernte; Bonitur der Völker vor und nach der Sorghumblüte: Fotografische Dokumentation jeder Wabenseite nach Abfegen der Bienen und Bestimmen der Brutzellzahlen mit dem Bildbearbeitungsprogramm hiveanalyzer (<https://hiveanalyzer.visionalytics.de/>).

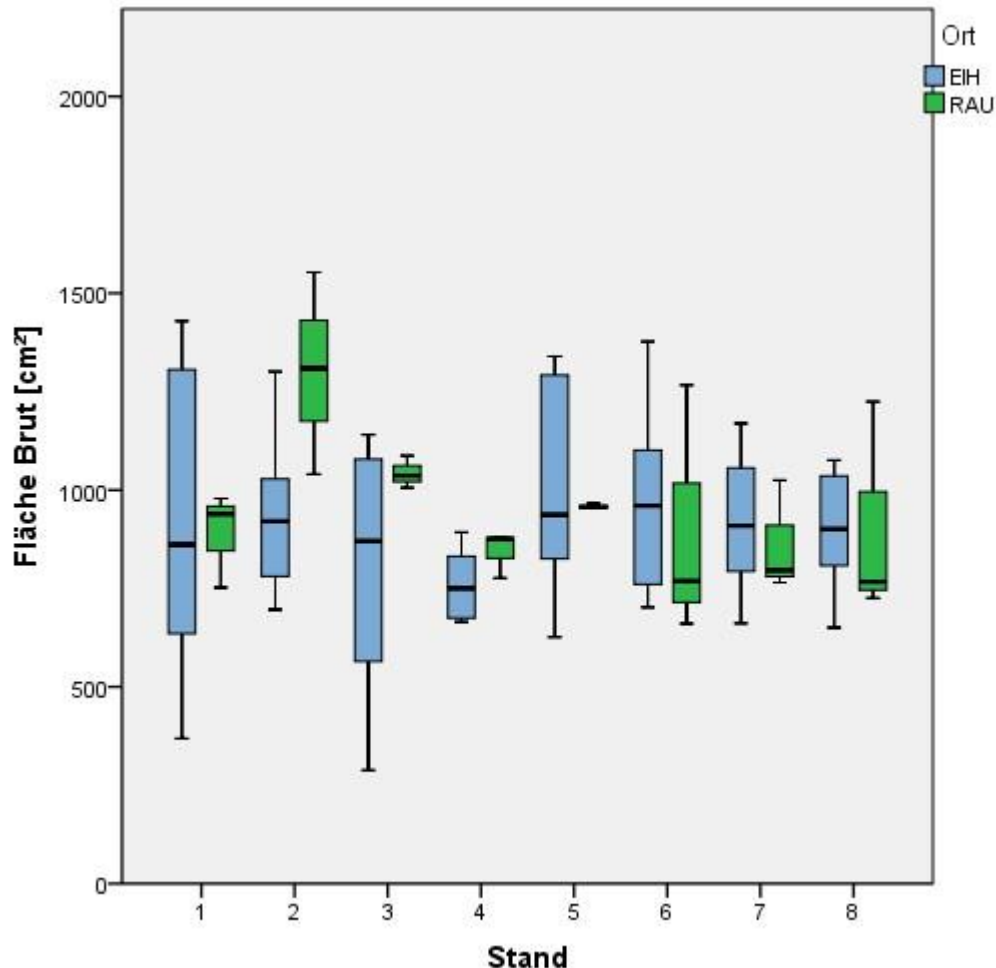


Abb. 36: Brutflächen in cm² je Stand für die beiden Standorte Eichhof (EIH) und Rauschholzhausen (RAU). Für die Darstellung wurden die Messwerte der 8 Boniturtermine je Volk gemittelt. N = 3 Völker je Stand; Der Abb. liegen die Daten aus Versuch I, II und III zu Grunde. N_{EIH}= 356 Datensätze; N_{RAU}=187. Standeffekt nicht signifikant (p=0,709, F=0,655; GLM, SPSS V.19)

Je Jahr und Standort wurden 192 Datensätze generiert. Datensätze von Völkern, die Königinnenprobleme hatten oder die ausgeräubert wurden, wurden von der Analyse ausgeschlossen. Die Daten der Versuche I bis III wurden mit der Prozedur gemischte lineare Modelle in SPSS v19 berechnet, wobei Boniturtermin als wiederholter Faktor angesehen wurde und Jahr, Ort, Boniturtermin und Stand als feste Faktoren betrachtet wurden. Es wurde mit verschiedenen Kovariantztypen gerechnet. Der autoregressive, heterogen Kovarianztyp wurde verwendet, da dort der niedrigste AIC Wert gefunden wurde.

Für das Merkmal "Brutfläche" waren die Faktoren Jahr (F=0,936, p=0,337), Ort (F=0,043, p=0,837) und Stand (F=0,655; p=0,709) nicht signifikant. Der Faktor Zeit hatte einen signifikanten Einfluß (F=45,0454, p>0,001) (LMM, SPSS, V19). Der Faktor Standort hatte auf keinen der an den Bienenvölkern geschätzten Parameter (Anzahl Bienen, Futterfläche, Fläche Bienenbrot, Gewicht) eine signifikante Bedeutung (p>0,05). Hier deutet sich an, dass ein Effekt der Großparzellen auf die Entwicklung der Honigbienenvölker unter den landwirtschaftlichen Realbedingungen bei den Versuchen I, II und III nicht abgebildet werden konnte. Schwierige pflanzenbauliche Bedingungen haben im Jahr 2021 dazu geführt, dass Sorghum nur sehr spät zur Blüte kam und auch die Kleegepartner nur spät und mäßig blühten. In 2022 war der Sommer heiß und trocken. Die Kleeunterseedung vertrocknete vor Beginn der Blüte. In 2021 gab es an beiden Standorten und in 2022 am Standort EIH ein beachtliches Alternativnahrungsangebot mit Blütmischungen, Blühpflanzen des Grünlandes, der Flußufer und der Feldraine, so dass ein möglicher Effekt der Sorghum-Kleegepartner durch das Blühangebot der Umgebung überlagert wurde. Wie in Tabelle 14 gezeigt, waren besonders die Asteraceen der Ruderalflächen und des extensiv genutzten Grünlandes sowie *Impatiens glandulifera* und später die Gattungen *Sinapis* und *Brassica* stark vertreten. Pollen von *S. bicolor* wurde nur vereinzelt gefunden.

Bei Versuch IV zeigte sich eine signifikante Abhängigkeit der Anlage von Brutzellen von der Entfernung von dem Sorghumfeld. Diese Beobachtung ist schlüssig. Der Sommer 2022 war heiß und trocken. Die ackerbaulich geprägte Landschaft des Versuchsstandortes IV lieferte den Bienen dementsprechend neben dem Sorghumschlag kaum andere Nahrungsangebote. Eine Veröffentlichung der Versuche ist

in Vorbereitung. Wir möchten die Leser, die sich für einen genaueren Bericht dieser Versuche interessieren, auf die Veröffentlichung verweisen.

Tab. 12: botanische Herkunft der Pollen in Abhängigkeit der Zeit und der Entfernung zur Zielfläche, Versuch III, Standort Eichhof, Jahr 2022; Ergebnisse der barcoding Analysen. Dargestellt sind die drei am häufigsten nachgewiesenen Arten (in absteigender Reihenfolge).

Zeit / Stand (Entfernung zur Sorghumfläche in m)	1 (0)	2 (550)	3 (450)	4 (550)	5 (1000)	6 (1400)	7 (2500)	8 (2250)
18.08.2022	C. tec.; H. pet.; C. alb.	L. aut.; H. rad.; I. gla.	I. gla.; H. rad. S. bic.	I. gla.; P. lan., L. aut.	L. aut.; H. rad.; S. int.	C. tec.; L. aut., C. int.	I. gla., H. rad.; A. vul.	H. rad.; I. gla.; A. vul.
01.09.2022	H. rad.; L. aut.; P. lan.	I. gla.; H. rad.; L. aut.	I. gla.; L. aut.; P. lan.;	L. aut.; C. tec.; C. int.	H. rad.; I. gla.; L. aut.	L. aut.; C. tec.; P. lan.	I. gla.; L. aut.; P. lan.	H. rad.; I. gla.; P. lan.
22.09.2022	S. alb.; H. rad.; A. vul.	S. alb.; I. gla.; H. rad.	I. gla.; H. rad.; S. alb.	S. alb.; I. gla.; B. nig.	S. alb.; B. nig.; T. vul.	S. alb.; I. gla.; B. nig.	S. alb.; H. rad.; I. gla.	H. rad.; I. gla.; H. hel.

Abk.:

A. vul.: *Artemisia vulgaris*; Beifuß

B. nig.: *Brassica nigra*; Senf

C. alb.: *Chenopodium album*; Gänsefuß

C. int.: *Cichorium intibus*; Wegwarte

C. tec.: *Crepis tectorum*; Pippau

H. hel.: *Hedera helix*, Efeu

H. pet.: *Helianthus petiolaris*; Sonnenblume

H. rad.: *Hypochaeris radicata*; Ferkelkraut

I. gla.: *Impatiens glandulifera*; Springkraut

L. aut.: *Leontodon autumnalis*; Herbst Löwenzahn

P. lan.: *Plantago lanceolata*; Spitzwegerich

S. bic.: *Sorghum bicolor*, Sorghumhirse

S. int.: *Silphium integrifolium*; Silphie

T. vul.: *Tanacetum vulgare*; Rainfarn

Referenzen:

Bull, Ines Ingeborg (2013): Untersuchungen zum Anbau und zur Verwertung von Steinklee, Rostock. Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät.

Erbs, Martin; Köchy, Martin (Hg.) (2020): Fachforum Bienen und Landwirtschaft. Synergien erforschen, Lösungen entwickeln: Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz. Braunschweig: DAFA. Online verfügbar unter <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:253-202004-dn062275-4>.

Evans, Pedro; Thompson, A. N. (2006): "Jota" annual sweet clover (*Melilotus albus* Medik.): a new salt tolerant legume for the high rainfall zone of southern Australia rainfall zone of southern Australia. In: *Proceedings of the 13th Australian Agronomy Conference*,. Online verfügbar unter http://www.agronomyaustraliaproceedings.org/images/sampled/2006/poster/soil/4423_evansp.pdf.

FNR 2024: <https://pflanzen.fnr.de/energiepflanzen/pflanzen/steinklee>, abgefragt am 09.01.2024.

Dainat, Benjamin; Dietemann, Vincent; Imdorf, Anton; Charrière, Jean-Daniel (2020): A scientific note on the 'Liebefeld Method' to estimate honey bee colony strength: its history, use, and translation. In: *Apidologie* 51, S. 422–427.

Hack, H.; Bleiholder, H.; Buhr, L.; Meier, U.; Schnock-Fricke, U.; Weber, E.; Witzemberger, A. (1992): Einheitliche codierung der phänologischen entwicklungsstadien mono-und dikotyler pflanzen—erweiterte BBCH-Skala, Allgemein. In: *Nachrichtenblatt des deutschen Pflanzenschutzdienstes* 44 (12), S. 265–270

Imdorf, A.; Buehlmann, G.; Gerig, L.; Kilchenmann, V.; Wille, H. (1987): A test of the method of estimation of brood areas and number of worker bees in free-flying colonies [Liebefeld method]. In: *Apidologie* 18, S. 137–146.

Sennhenn, Anne; Odhiambo, J. J.O.; Maass, B. L.; Am Whitbread (2017): Considering effects of temperature and photoperiod on growth and development of *lablab purpureus* (L.) Sweet in the search of short-season accessions for smallholder farming systems. In: *Experimental Agriculture* 53 (3), S. 375–395.

Arbeitspaket 4: Phänotypisierung des Sorghum-Pflanzenmaterials auf für Gemenge- bzw. Untersaat-Kompatibilität wichtige Merkmale

Zur Erfassung der im bestehenden Zuchtmaterial vorhandenen phänotypischen Variation für Blattstellung wurde 2020 am JLU-Standort Groß-Gerau ein Diversitätsset (bestehend aus aktuellem Zuchtmaterial, n=338) sowie zwei für das Merkmal spaltende biparentale, rekombinante Inzuchtlinien (RIL)-Populationen (SS79 x JI2731, n=148; SS79 x Etian, n=140) angebaut.

Während des frühen Rispschiebens (ca. BBCH 51-53) wurde an drei Pflanzen je Genotyp, welche als biologische Wiederholungen betrachtet wurden, der Blattwinkel der drei oberen Blätter (ohne Fahnenblatt) gemessen. In der Varianzanalyse wurden Genotyp und Blatt (1,2 oder 3) als fixe Faktoren betrachtet. Hoch-signifikante genotypische Unterschiede im Blattwinkel konnten sowohl für das Diversitätsset, als auch für beide RIL-Populationen beobachtet werden. Die einzelnen Blätter unterschieden sich ebenfalls signifikant voneinander. Generell wurde der Blattwinkel "nach unten" enger bzw. "nach oben" weiter (Tab. 15). Bei dieser Konstellation beschatten die oberen Blätter die unteren. Für eine effizientere Strahlungsabsorption bzw. Photosynthese wäre daher eine umgekehrte Konfiguration vorteilhaft. Während bei beiden RIL-Populationen die Genotyp * Blatt-Interaktion nicht signifikant war ($p=0,44$ und $0,86$), wurde beim Diversitätsset eine hoch-signifikante Interaktion beobachtet. Somit liegt hier bei einer relevanten Anzahl Genotypen eine abweichende Blattwinkel-Konfiguration der oberen drei Blätter vor, welche züchterisch besonders interessant sein könnten. Zahlreiche insgesamt erektophile Genotypen, welche für den Mischanbau mit Untersaaten vorteilhaft erscheinen, wurden selektiert.

Tab. 15: Deskriptive Statistik zur Variation für Blattwinkel, Ergebnisse aus Groß-Gerau 2020

Population	SS79 x Etian			SS79 x JI2731			Diversitätsset		
# Blatt (von oben)	Mittel	Min	Max	Mittel	Min	Max	Mittel	Min	Max
Blatt 1	49°	30°	70°	41°	20°	78°	43°	22°	75°
Blatt 2	39°	22°	60°	32°	18°	68°	35°	20°	63°
Blatt 3	33°	15°	50°	28°	15°	75°	32°	17°	57°
Mittel Blätter	40°	24°	59°	33°	18°	74°	37°	22°	63°

Bei einer Auswahl extremer Genotypen (n=21 aus beiden RIL-Populationen und n=11 aus dem Diversitätsset) wurden die auf Blattwinkel bonitierten Pflanzen ausgegraben und ihr Wurzelwinkel (Winkel der Kronenwurzeln zum Sprossansatz) gemessen (Tab. 16 und Abb. 37). Dabei konnten signifikante genotypische Unterschiede im Wurzelwinkel festgestellt werden. Zudem wurde mittels einfaktorieller Varianzanalyse geprüft, ob sich die beiden Gruppen extremer Blattstellung (aufrecht/erektophil vs. waagrecht/planophil) auch hinsichtlich ihrer Wurzelarchitektur entsprechend verhalten. Bei den RIL-Populationen konnten dabei keine Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden. Demgegenüber zeigten beim Diversitätsset Genotypen mit erektophiler Blattstellung im Durchschnitt einen engeren Wurzelwinkel (53°) als planophile Genotypen (60°). Diese Unterschiede verfehlten jedoch knapp das Signifikanzniveau ($p=0,09$). Hierbei ist aber zu berücksichtigen, dass nur eine kleine Anzahl Genotypen auf Wurzelmerkmale untersucht wurde und die Messung des Wurzelwinkels am Feld weniger exakt als die des Blattwinkels ist. Im weiteren Projektverlauf wurde daher auf die Messung des Wurzelwinkels in Rhizotronversuchen fokussiert (s. u.).

Tab. 16: Wurzelwinkel (Mittelwerte der Feld-Bonitur von 3 Einzelpflanzen je Genotyp) von extremen Subsets (planophiler vs. erektophile Genotypen) aus beiden RIL-Populationen und des Diversitätssets (Feldversuche Groß-Gerau 2020)

Population	RIL-Populationen			Diversitätsset		
Gruppe	Mittel	Min	Max	Mittel	Min	Max
Planophile Genotypen (RILs: n=11; Divset: n=5)	60°	53°	65°	60°	52°	67°
Erektophile Genotypen (RILs: n=10; Divset: n=5)	58°	42°	70°	53°	30°	65°



Abb. 37: Genotypische Unterschiede für Wurzelarchitektur unter Feldbedingungen (Groß-Gerau, Oktober 2020) zwischen zwei Sorghum-Genotypen

In 2021 wurde die biparentale RIL-Population mit der- basierend auf den Messungen aus 2020-stärksten Segregation für Blattstellung (SS79 x JI2731, n=150 rekombinante Inzuchtlinien) in einem Parzellenversuch (zwei Wiederholungen) mit Schwedenklee (Sorte 'Dawn') als Untersaat in Groß-Gerau, Rauschholzhausen und Straubing angebaut. Ziel dieser Versuchsanlage war es zu analysieren, welchen Einfluss verschiedene Pflanzenarchitekturmerkmale des Sorghums auf Vitalitätsparameter der Untersaat haben.

Wegen des nasskalten Mais konnte die Aussaat an allen Standorten erst Anfang Juni erfolgen. Leider blieb es nach der Aussaat für ca. 3 Wochen bei hohen Temperaturen trocken, so dass der Aufgang des Schwedenklee in Rauschholzhausen und Straubing sehr schwach war und die dortigen Versuche letztlich von der Auswertung ausgeklammert werden mussten. Dank Beregnung war der Aufgang und die Jugendentwicklung des Schwedenklee in Groß-Gerau hingegen gut und so zumindest dieser Standort voll auswertbar (Abb. 38). Der Aufgang des Sorghums war ebenso zufriedenstellend und lag für fast alle Prüfglieder im Bereich der Ziel-Bestandesdichte von ca. 20 Pflanzen/qm, die wenigen Genotypen mit einer geringeren Bestandesdichte wurden nicht in die weiteren Analysen einbezogen. Je Sorghum-Inzuchtlinie wurden an drei repräsentativen Pflanzen während des Rispschiebens die Winkel der drei obersten Blätter gemessen. Ferner wurde der allgemeine Blattstellungs- bzw. Pflanzenarchitektur-Habitus (erectophil versus planophil) auf einer Skala von 1-9 bonitiert, sowie Pflanzenhöhe und Blühbeginn erfasst. Am Schwedenklee wurden Blühbeginn, Pflanzenhöhe und Mehltaubefall bonitiert, zudem wurde nach dem Ende der Sorghumblüte (d. h. dem Erreichen der maximalen Beschattung) auf einem Quadratmeter der Parzellenmitte die komplette Klee-Biomasse geerntet.

Wie basierend auf den Ergebnissen von 2020 erwartet, zeigten die Sorghum-RILs hinsichtlich ihrer Blattwinkel hochsignifikante Unterschiede. Alle am Schwedenklee erfassten Vitalitätsparameter wurden signifikant von den Sorghum- Genotypen beeinflusst (Tab. 17). Dieses Ergebnis zeigt, dass die Auswahl passender Sorghum-Zuchtstämme entscheidend für das Blühverhalten, d. h. die Nektarbereitstellung für Insekten, und die Biomasse-Bildung der Untersaaten ist.

Tab. 17: Einfluss von n=142 Sorghum-Genotypen bzw. RILs (fixer Faktor) auf Vitalitätsparameter (variable Faktoren) von Schwedenklee der Sorte ‚Dawn‘ als Untersaat, Groß-Gerau 2021 (***: statistisch bei einem Signifikanzniveau von $\alpha=0,001$ unterscheidbar)

Merkmal	Genotypische Varianz (Quadratmittel)	Fehler-Varianz (Quadratmittel)
Tage bis Blüte Klee (d)	14,3 ***	0,9
Höhe Klee (m)	0,027***	0,01
Mehltau Klee (1-9)	5,7***	0,03
Trockenmasse Klee (g)	68,5***	31,4

Daraus ergibt sich natürlich die Frage, welche Merkmale ein "untersaatenfreundlicher" Sorghum-Genotyp aufweisen muss, um eine Selektion nach dem Konzept der Ideotyp-Züchtung zu ermöglichen. Diesbezüglich wurden die am Sorghum erfassten Merkmale mit den Vitalitätsparametern des

Schwedenklees korreliert. Anhand der in Tab. 18 dargestellten Korrelationsmatrix wird allerdings deutlich, dass die Effekte einzelner Sorghum-Merkmale insgesamt schwach sind. Signifikante Korrelationen ergaben sich zwischen den folgenden Merkmalen:

- Blattstellungs-Habitus Sorghum und Tage bis Blüte Klee: unter erektophilen Sorghum-Genotypen blühte der Schwedenklee früher;
- Blattstellungs-Habitus Sorghum und Mehltau-Befall Klee: unter erektophilen Sorghum-Genotypen zeigte sich weniger Mehltau;
- Tage bis Blüte Sorghum und Pflanzenhöhe Klee: unter spätblühenden Sorghum-Genotypen erreichte der Schwedenklee eine größere Höhe;
- Tage bis Blüte Sorghum und Biomasse Klee: unter spätblühenden Sorghum-Genotypen zeigte Schwedenklee eine höhere Biomassebildung (Trockenmasse).

Es sei jedoch betont, dass es sich dabei durchweg um Korrelationen im niedrigen Bereich, mit einem Bestimmtheitsmaß (R^2) von maximal 8%, handelt. Basierend auf diesen Ergebnissen erscheint interessanterweise die visuelle Bonitur der Sorghum-Blattstellung zielführender als die Messung der Blattwinkel. Dies lässt sich vermutlich dadurch erklären, dass bei der Messung der Blattwinkel am Stängel nicht die Neigung der Blätter Richtung Blattspitze berücksichtigt wird.

Tab. 18: Pearson's Korrelationen zwischen den an Sorghum-Genotypen der SS79xJI2731 RIL-Population erfassten Merkmalen und Vitalitätsparametern von Schwedenklee als Untersaat ($n=142$), Groß-Gerau 2021 (*: statistisch bei $\alpha=0,05$; **: $\alpha=0,01$; ***: $\alpha=0,001$ signifikant)

	Tage bis Blüte Sorghum	Höhe Sorghum	Blattstellungstyp Sorghum (1=erektophil; 9=planophil)	Blattwinkel Sorghum (MW oberste 3 Blätter)
Tage bis Blüte Klee	-0,09	0,09	-0,28**	-0,04
Höhe Klee	0,26**	-0,14	0,09	-0,04
Mehltau Klee (9=stark)	-0,16	0,07	-0,19*	0,07
Trockenmasse Klee	0,17*	-0,05	0,07	-0,03

In einem weiteren Analyse-Ansatz wurden extreme Sorghum-Genotypen, unter denen die jeweils früheste oder späteste Blüte, der schwächste oder stärkste Mehltaubefall sowie die höchsten und niedrigsten Biomasse-Erträge des Schwedenklees erzielt wurden, hinsichtlich ihrer Merkmale mittels einer einfaktoriellen Varianzanalyse verglichen. Es zeigte sich, dass die Gruppe der Sorghum-Genotypen ($n=18$), unter denen der Schwedenklee am frühesten zur Blüte kam (62 Tage oder weniger), eine signifikant niedrigere Wuchshöhe aufwies als die konträre Extremgruppe ($n=21$), unter der Schwedenklee am spätesten zur Blüte kam (69 Tage oder mehr). Für die anderen Merkmalsvergleiche ergaben sich jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den jeweiligen Extremgruppen.



Abb. 38: Anbau der SS79 x JI2731 Sorghum RIL-Population mit Schwedenklee (Sorte ‚Dawn‘) als Untersaat in Groß-Gerau (Foto vom 12.08.2021). Links: erektophiler Sorghum-Genotyp; rechts: planophiler Sorghum-Genotyp. Während der Schwedenklee unter dem erektophilen Sorghum-Genotyp bereits blüht, ist der Blühbeginn unter dem planophilen Genotypen verzögert

Im Jahr 2022 wurde der o. g. Versuch mit den gleichen Parametern erneut in Groß-Gerau, Rauschholzhausen und Straubing angelegt. Aufgrund der bereits im frühen Sommer überdurchschnittlich trocken-warmen Bedingungen misslang die Etablierung des Schwedenklee leider an allen Standorten, so dass die Versuche nicht auswertbar waren.

Im **Jahr 2023** wurde daher dieser Versuchsansatz (biparentale Sorghum RIL-Population SS79 x JI2731 in 2 Wdh. je Genotyp mit Schwedenklee ‚Dawn‘ als Untersaat) im Rahmen der kostenneutralen Verlängerung von Teilvorhaben I am Standort Groß-Gerau wiederholt. Die Aussaat in Groß Gerau erfolgte am 15.05.2023. Dank Beregnung etablierte sich der Klee nach einem gutem Aufgang sehr gut zwischen der Sorghumhirse (Abb. 39). Der Aufgang des Sorghums war ebenso zufriedenstellend und lag für fast alle Prüfglieder im Bereich der Ziel-Bestandesdichte, die wenigen Genotypen mit einer geringeren Bestandesdichte wurden wie schon 2021 nicht in die weiteren Analysen einbezogen. Die Datenerhebung der zu untersuchenden Merkmale erfolgte wie zuvor für den Felversuch im Jahr 2021 beschrieben.

Anders als 2021 wurden nicht alle am Schwedenklee erfassten Vitalitätsparameter signifikant von den Sorghum- Genotypen beeinflusst (Tab. 19). Lediglich der Trockenmasseertrag des Klees variierte signifikant in Abhängigkeit des Sorghum-Genotyps.

Tab. 19: Einfluss von $n=142$ Sorghum-Genotypen bzw. RILs (fixer Faktor) auf Vitalitätsparameter (variable Faktoren) von Schwedenklee der Sorte ‚Dawn‘ als Untersaat, Groß-Gerau 2023 (***: statistisch bei einem Signifikanzniveau von $\alpha=0,001$ unterscheidbar)

Merkmal	Genotypische Varianz (Quadratmittel)	Fehler-Varianz (Quadratmittel)
Tage bis Blüte Klee (d)	1,40	1,69
Höhe Klee (m)	39,37	34,33
Mehltau Klee (1-9)	0,58	0,88
Trockenmasse Klee (g)	1203,84***	635,62

Zur Untersuchung der Fragestellung, welche Merkmale ein "untersaatenfreundlicher" Sorghum-Genotyp aufweisen muss, um eine Selektion nach dem Konzept der Ideotyp-Züchtung zu ermöglichen, wurden wie in 2021 die am Sorghum erfassten Merkmale mit den Vitalitätsparametern des Schwedenklee korreliert. Anhand der in Tab. 20 dargestellten Korrelationsmatrix wird allerdings deutlich, dass auch in 2023 die Effekte einzelner Sorghum-Merkmale insgesamt schwach waren. Im

Gegensatz zu 2021 ergaben sich keine signifikanten Korrelationen zwischen Blattstellung des Sorghums und Vitalitätsparametern des Klees. Signifikante Korrelationen ergaben sich zwischen den folgenden Merkmalen:

- Tage bis Blüte Sorghum und Biomasse Klee: unter spätblühenden Sorghum-Genotypen zeigte Schwedenklee eine höhere Biomassebildung (Trockenmasse)
- Höhe Sorghum und Biomasse Klee: unter großwüchsigeren Sorghum-Genotypen zeigte Schwedenklee eine niedrigere Biomassebildung (Trockenmasse)

Es sei jedoch betont, dass es sich dabei durchweg um Korrelationen im niedrigen Bereich, mit einem Bestimmtheitsmaß (R^2) von maximal 4,5%, handelt.

Tab. 20: Pearson's Korrelationen zwischen den an Sorghum-Genotypen der SS79xJI2731 RIL-Population erfassten Merkmalen und Vitalitätsparametern von Schwedenklee als Untersaat ($n=142$), Groß-Gerau 2023 (*: statistisch bei $\alpha=0,05$; **: $\alpha=0,01$; ***: $\alpha=0,001$ signifikant)

	Tage bis Blüte Sorghum	Höhe Sorghum	Blattstellungstyp Sorghum (1=erectophil; 9=planophil)	Blattwinkel Sorghum (MW oberste 3 Blätter)
Tage bis Blüte Klee	-0,014	0,073	-0,078	0,012
Höhe Klee	0,109	-0,040	-0,036	0,030
Mehltau Klee (9=stark)	-0,087	0,037	-0,016	-0,009
Trockenmasse Klee	0,211*	-0,165*	0,030	0,029



Abb. 39: Anbau der SS79 x JI2731 Sorghum RIL-Population mit Schwedenklee (Sorte ‚Dawn‘) als Untersaat in Groß-Gerau (Foto vom 30.07.2023)

Zusätzlich wurde in einem Rhizotronversuch die Wurzelarchitektur ausgewählter Genotypen der SS79 x JI2731 RIL-Population genauer betrachtet. Auf Grundlage der Bonitur des Blattstellungstyps von Sorghum wurden insgesamt zehn extreme Genotypen, fünf erectophile und fünf planophile, ausgewählt. Desweiteren wurden die Sorghum-Genotypen, mit welchen im Versuchsjahr 2021 die zehn höchsten und zehn niedrigsten Biomasse-Erträge des Schwedenklees erzielt wurden, mit in den Versuch aufgenommen. Ziel des Rhizotronversuchs war es herauszufinden, ob zwischen Blattstellung und Wurzelwinkel eine Korrelation besteht und ob die Architektur des Wurzelsystems einen signifikanten

Einfluss auf den Biomasse-Ertrag von Schwedenklee hat. Die Korrelationen wurden sowohl mit den Daten der einzelnen Feldversuche von 2021 und 2023, als auch den Mittelwerten beider Feldversuche berechnet (siehe Tab. 21, 22 und 23).



Abb. 40: Durchführung des Rhizotronversuchs im Gewächshaus mit ausgewählten Genotypen der SS79 x JI2731 Sorghum RIL-Population (Foto vom 21.07.2022). Links: Sorghum-Genotypen in Teesieben in mit Sand gefüllten Rosentöpfen im 5-Blatt-Stadium. Zu diesem Entwicklungsstadium haben sich die Kronenwurzeln gebildet, so dass eine Bonitur der Wurzelstruktur bzw. des Wurzelwinkels erfolgen kann. Rechts: Teesieb zur Fixierung der Sorghumwurzeln

Tab. 21: Pearson's Korrelationen zwischen erfassten Merkmalen ausgewählter Sorghum-Genotypen der SS79xJI2731 RIL-Population sowie des Schwedenkleees aus dem Feldversuch Groß-Gerau 2021 und den im Rhizotronversuch erfassten Merkmalen (*: statistisch bei $\alpha=0,05$; **: $\alpha=0,01$; ***: $\alpha=0,001$ signifikant)

	Blattstellungstyp Sorghum (1=erektophil; 9=planophil)	Trockenmasse Klee	Blattwinkel Sorghum (MW oberste 3 Blätter)	Wurzelwinkel Sorghum (MW aller Wurzeln)
Trockenmasse Klee	0,112	-		
Blattwinkel Sorghum	-0,458*	0,212	-	
Wurzelwinkel Sorghum	-0,411*	0,232	0,197	-
Wurzelanzahl Sorghum	-0,631*	0,207	0,430*	0,515*

Tab. 22: Pearson's Korrelationen zwischen erfassten Merkmalen ausgewählter Sorghum-Genotypen der SS79xJI2731 RIL-Population sowie des Schwedenklees aus dem Feldversuch Groß-Gerau 2023 und den im Rhizotronversuch erfassten Merkmalen (*: statistisch bei $\alpha=0,05$; **: $\alpha=0,01$; ***: $\alpha=0,001$ signifikant)

	Blattstellungstyp Sorghum (1=erektophil; 9=planophil)	Trockenmasse Klee	Blattwinkel Sorghum (MW oberste 3 Blätter)	Wurzelwinkel Sorghum (MW aller Wurzeln)
Trockenmasse Klee	0,028	-		
Blattwinkel Sorghum	0,019	0,086	-	
Wurzelwinkel Sorghum	-0,402	-0,008	-0,046	-
Wurzelanzahl Sorghum	-0,321	0,189	-0,143	0,515*

Tab. 23: Pearson's Korrelationen zwischen erfassten Merkmalen ausgewählter Sorghum-Genotypen der SS79xJI2731 RIL-Population sowie des Schwedenklees (Mittelwerte Groß-Gerau 2021 und 2023) und den erfassten Merkmalen im Rhizotronversuch, Gießen, Gewächshaus, 2022 (*: statistisch bei $\alpha=0,05$; **: $\alpha=0,01$; ***: $\alpha=0,001$ signifikant)

	Blattstellungstyp Sorghum (1=erektophil; 9=planophil)	Trockenmasse Klee	Blattwinkel Sorghum (MW oberste 3 Blätter)	Wurzelwinkel Sorghum (MW aller Wurzeln)
Trockenmasse Klee	-0,035	-		
Blattwinkel Sorghum	-0,047	0,239	-	
Wurzelwinkel Sorghum	-0,444*	0,064	0,049	-
Wurzelanzahl Sorghum	-0,596**	0,218	0,073	0,515*

Die Untersuchungen ergaben, dass die Wurzelstruktur von Sorghum keine erkennbaren Auswirkungen auf die Biomasseproduktion des Schwedenklees hatte. In den Studienjahren ließen sich keine bedeutsamen Zusammenhänge zwischen der Trockenmasse des Schwedenklees und Merkmalen wie der Anzahl oder dem Winkel der Sorghumwurzeln feststellen. Es bleibt natürlich einschränkend anzumerken, dass die Wurzelarchitektur unter anderen Versuchsbedingungen bonitiert wurde. Vermutlich ist für das Gedeihen des Schwedenklees als Untersaat die Kombination zahlreicher Faktoren entscheidender, als ein Faktor für sich alleine betrachtet. Hierdurch wird die gezielte Züchtung von "untersaatenfreundlichem" Sorghum erschwert, da sich keine klaren Selektionsmerkmale ableiten lassen.

Überraschenderweise kann die zu Projektbeginn postulierte These, dass eine erektophile Blattstellung (Reduzierung der Beschattung) gleichzeitig auch auf eine vertikale Wurzelarchitektur (Reduzierung der Wasserkonkurrenz) hinweist, nicht bestätigt werden. Die Ergebnisse in 2021 und über beide Jahre hinweg zeigen eine signifikant negative Korrelationen zwischen Blattstellungstyp und dem Wurzelwinkel (Abb. 41). Das heißt, je erektophiler die Blattstellung, desto breiter ist das Wurzelsystem. Auch dieses Ergebnis erschwert die systematische Selektion und Züchtung eines "untersaatenfreundlichen" Sorghum-Ideotyps.

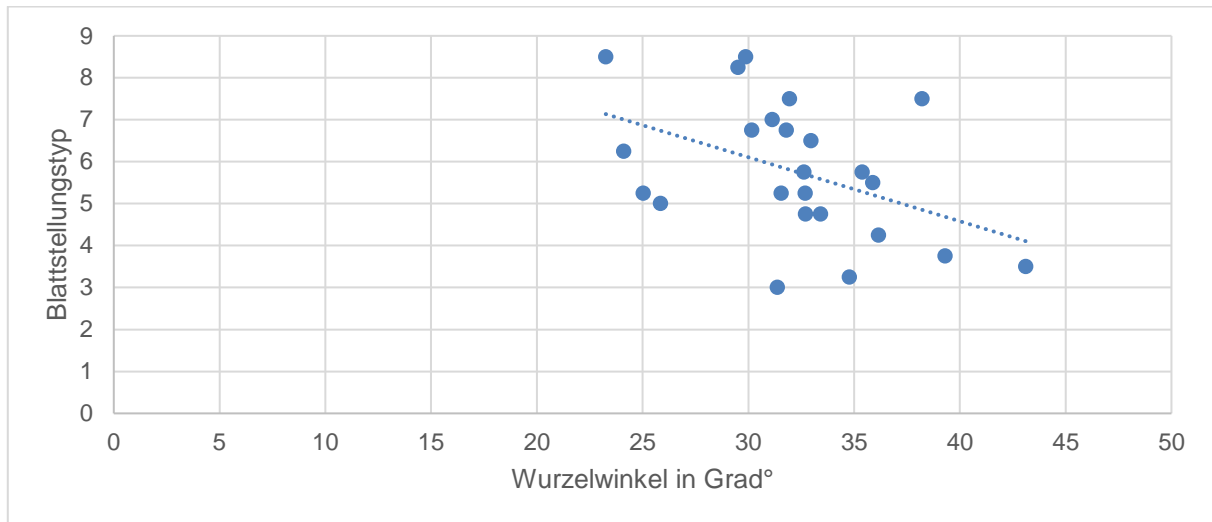


Abb. 41: Korrelation (-0,444*) zwischen Blattstellungstyp (1=erectophil; 9=planophil) und Wurzelwinkel von Sorghum über beide Versuchsjahre hinweg (2021 und 2023)

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Sorghum-Genotyp einen hochsignifikanten Einfluss auf wichtige Vitalitätsparameter der Untersaat ausübt. Hier ist neben dem in 2021 festgestellten Einfluss auf Tage bis Blüte, Befall von Mehltau und Höhe des Klees der in beiden Versuchsjahren hochsignifikante Einfluss auf den Klee-Biomasseertrag besonders hervorzuheben. Erectophile Sorghum-Genotypen mit niedriger Wuchshöhe und späterer Blüte begünstigen die Entwicklung von Schwedenklee als Untersaat. Der Effekt der einzelnen Sorghum-Merkmale ist für sich allein betrachtet jedoch gering, der signifikante Genotyp-Effekt auf die Vitalitätsparameter des Klees ergibt sich vermutlich durch das Zusammenspiel der o. g. Faktoren und weiteren, aktuell noch unbekanntem Einflussgrößen.

Durch die o. g. Feldversuche konnten interessante erectophile Genotypen identifiziert werden, welche zur Erstellung von neuem, verbessertem Zuchtmaterial verwendet wurden. Die im Rahmen der kostenneutralen Laufzeitverlängerung von Teilvorhaben I durchgeführte Wintervermehrung in Mexiko ermöglichte hier einen als sehr günstig zu bewertenden Zeitgewinn.

Arbeitspaket 5: Untersuchungen zur genetischen Determination der Zielmerkmale für Untersaatkompatibilität

Im Jahr 2020 wurde ein großes Sorghum-Diversitätsset (n=330) auf Blattstellung phänotypisiert (siehe AP 4). Um erste Hinweise auf die genetische Architektur dieses Merkmals zu erhalten, wurde unter Verwendung von zu diesem Material bereits vorhandenen Markerdaten eine genomweite Assoziationsstudie (GWAS) mit den Feldversuchsdaten von 2020 durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abb. 42 dargestellt und zeigen, dass die mit der Blattstellung assoziierten Marker auf Chromosom 3, 4, 5 und 8 liegen (5%-Signifikanzschwelle bei $\log_{10}(p) > 3$). Die stärkste Assoziation mit dem Merkmal liegt auf Chromosom 5 vor. Die Verteilung der Signifikanzen auf mehreren Chromosomen über das gesamte Genom hinweg, lässt annehmen, dass es sich bei der Blattstellung um ein quantitativ vererbtes Merkmal handelt.

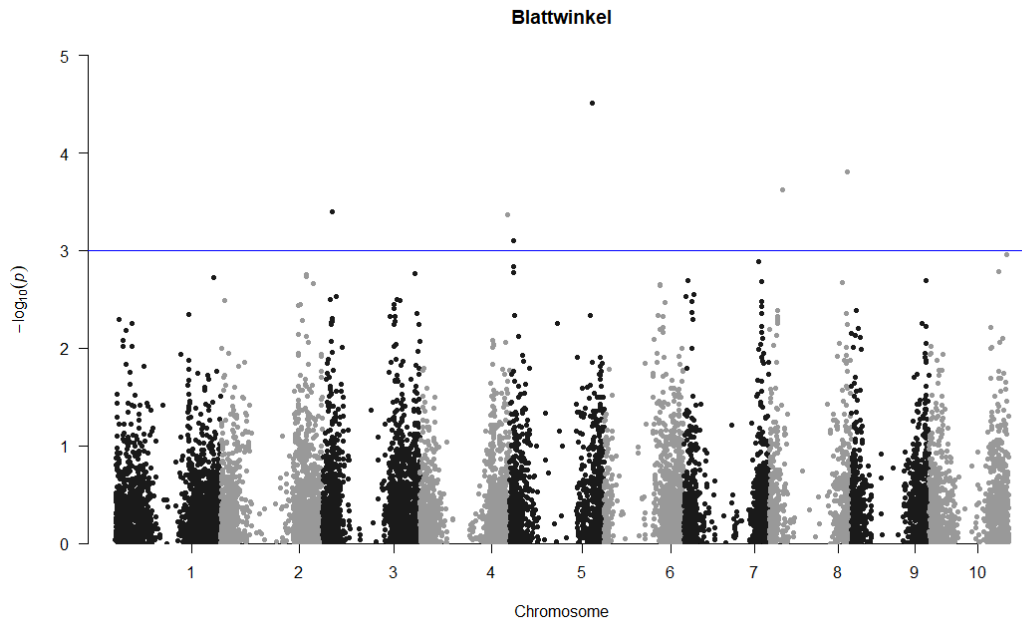


Abb. 42: Merkmal-Marker-Assoziationen ("Manhattan-Plot") für Blattwinkel (Feldversuch 2020): Marker auf den Chromosomen 3, 4, 5 und 8 sind mit dem Merkmal assoziiert

Unter Verwendung der an der SS79 x JI2731 RIL-Population in 2023 erhobenen Daten wurde eine biparentale QTL-Studie durchgeführt. Hier zeigt sich ebenfalls eine Assoziation mit dem Merkmal Blattstellung auf Chromosom 4 (Abb. 43). Dies bekräftigt die Annahme, dass Chromosom 4 eine wichtige Rolle für mit Blattstellung assoziierte Marker spielt. Anders als bei der eingangs dargestellten GWAS zeigen sich in der biparentalen QTL-Studie keine weiteren Assoziationen mit dem Merkmal auf anderen Chromosomen. Dies könnte durch die im Vergleich zum Diversitätsset geringere genetische Variaton in der biparentalen Population begründet sein.

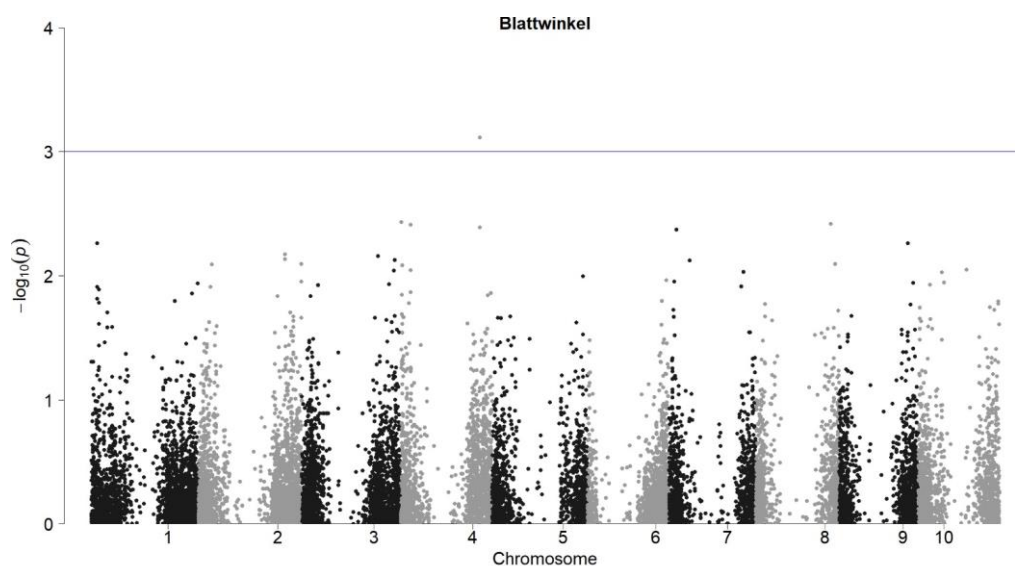


Abb. 43: Merkmal-Marker-Assoziationen ("Manhattan-Plot") für Blattwinkel (SS79 x JI2731 RIL-Population, Feldversuch 2023): Ein Marker auf dem Chromosom 4 ist dem Merkmal assoziiert

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die durchgeführten Studien darauf hindeuten, dass die Blattstellung ein quantitativ vererbtes Merkmal ist, beeinflusst durch Gene auf den Chromosomen 3, 4, 5 und 8, wobei Chromosom 5 bei der GWAS die stärkste Assoziation zeigte. Die Ergebnisse der biparentalen QTL-Studie bestätigten eine Assoziation auf Chromosom 4, während Assoziationen auf den anderen Chromosomen nicht beobachtet wurden.

Auf eine detailliertere Darstellung der Ergebnisse von AP 5, inkl. der Identifikation möglicher Kandidatengene, sei an dieser Stelle verzichtet. Da innerhalb dieses Arbeitsschwerpunktes wissenschaftliches Neuland beschritten wurde, ist es Ziel, die Ergebnisse in einem englischsprachigen Journal mit peer-review-Verfahren wissenschaftlich zu publizieren.

Arbeitspaket 6: Phänotypisierung der Mischungspartner und Untersaaten auf Beschattungstoleranz

Für ein effizientes Screening von neuem Untersaaten-Material auf biotische und/oder abiotische Stressfaktoren wurden Versuche in Schattentunneln angelegt. Hierbei wurden zwei Varianten unterschiedlicher Schattierungsintensität durchgeführt: a) Blockierung von 50 % des natürlichen Lichts und b) Blockierung von 90 % des natürlichen Lichts. Für die Saison 2022 haben wir bestehende Selektionen aus unserem aktuellen Programm der Kleearten Perserklee (Trr), Alexandrinerklee (Ta) und Inkarnatklee (Ti) untersucht. Für jedes Prüfglied haben wir einen separaten Versuch mit mehreren Standorten angelegt, wobei die Schattierungsbedingungen die verschiedenen Standorte waren.



Abb. 44: Ansicht der Schattierungstunnel am Standort Ven Zelderheide (links: 50% Schattierung, rechts: 90% Schattierung)

Bei jeder der drei Kleearten bonitierten wir den Blühzeitpunkt, die Blütendichte, die Höhe der Bodenbedeckung und mögliche Stresssymptome (biotisch oder abiotisch). Da die Blüte eines der wichtigsten Merkmale ist, nach denen wir in diesem Projekt suchen, ist dies in den folgenden Diagrammen näher dargestellt. Bei allen drei Arten sehen wir, dass ausnahmslos alle Prüfglieder auf mehr Schatten mit einer verzögerten Blütezeit reagieren. Dies zeigt sich deutlich in Abbildung 46 (oben links) in der die drei Umgebungen parallele Linien zeigen, ohne klare Wechselwirkungen. Betrachtet man die Blütendichte über die Zeit, so lassen sich weitere Unterschiede zwischen den Prüfgliedern feststellen. Abbildung 46 (unten) zeigt die Werte für die Blütendichte, jedoch mit dem Delta (Unterschied) zwischen der normalen (Null-) Umgebung und der 90 %-Schatten-Umgebung. Punkte über Null bedeuten eine gleiche oder bessere Leistung als in der Null-Umgebung. Negative Werte weisen auf eine geringere Leistung im Vergleich zur normalen Umgebung hin.

Im Allgemeinen können wir feststellen, dass früher blühendes Material bevorzugt wird. Dafür gibt es zwei Gründe: Eine frühere Blüte bedeutet in den meisten Fällen ein geringeres vegetatives Wachstum, was die Konkurrenz mit der Nutzpflanze minimiert. Außerdem wird dadurch das Blühfenster verlängert, da sich die Blüte bei allen Pflanzen verzögert, wenn sie als Begleitkultur verwendet werden. Ein früherer Anbau bedeutet also eine größere Chance auf eine Blüte während der Wachstumsperiode. Die Höhe der Begleitpflanze ist ein weiterer Faktor, der einen Teil der Biomasse reduziert, und scheint bei dieser speziellen Nutzungsart von Vorteil zu sein.

Ein interessanter visueller Marker für eine erhöhte Schattentoleranz könnte vermutlich die Anthocyanfärbung der Blätter sein. Nach dem derzeitigen Stand der Wissenschaft wurden Anthocyane in erster Linie als antioxidative Verbindungen zum Zellschutz bei starker Sonneneinstrahlung angesehen. Neuere Studien, wie z. B. von Landi et al. (2020), weisen jedoch darauf hin, dass Anthocyane eine bessere Lichtabsorption im blauen Spektrum und damit eine effizientere Photosynthese bei geringer Lichtintensität ermöglichen. Viele der in diesem Versuch ausgewählten

schattentoleranten Akzessionen scheinen diese Vermutung zu bestätigen, da sie auch eine auffallend dunkle Blattfärbung aufweisen.



Abb. 45: Reaktion verschiedener Perserklee- Akzessionen auf künstliche Beschattung, von starkem Stress und Absterbe-Erscheinungen (links) über gute Bodenbedeckung, aber wenig Blüten (Mitte) bis zur gewünschten, blühreichen Entwicklung (rechts)

Der Versuch für **Alexandrinerklee (Ta)** umfasste sieben Prüfglieder mit früh und später blühendem Material. Abb. 46 zeigt die Ergebnisse sowohl für die Tage bis zur Blüte als auch für die Blütendichte. Es ist eine klare parallele Linie für die drei Schattierungsumwelten zu erkennen, mit kaum einer Interaktion zwischen ihnen. Mehr Schatten führt zu einer verzögerten Blütezeit: Einige der später blühenden Sorten reagieren negativ auf schattige Umgebungen, was bedeutet, dass sie noch später blühen, wie zum Beispiel *cv Alex*. Interessant sind die Sorten, die den geringsten Umwelteinfluss aufweisen (d. h. nahe der Basislinie im AMMI-Diagramm). Dies sind DSVTa166115, DSVTa166107 und DSVTa166111. Es könnte argumentiert werden, dass ein früher blühender Typ für die Aussaat im Mischanbau vorteilhafter wäre. Früh blühende Typen reagieren auf Beschattung nicht mit größeren Verzögerungen der Blüte; spät blühende Typen würden die Blütezeit in einem suboptimalen Umfeld, wie z. B. als Untersaat, verkürzen.

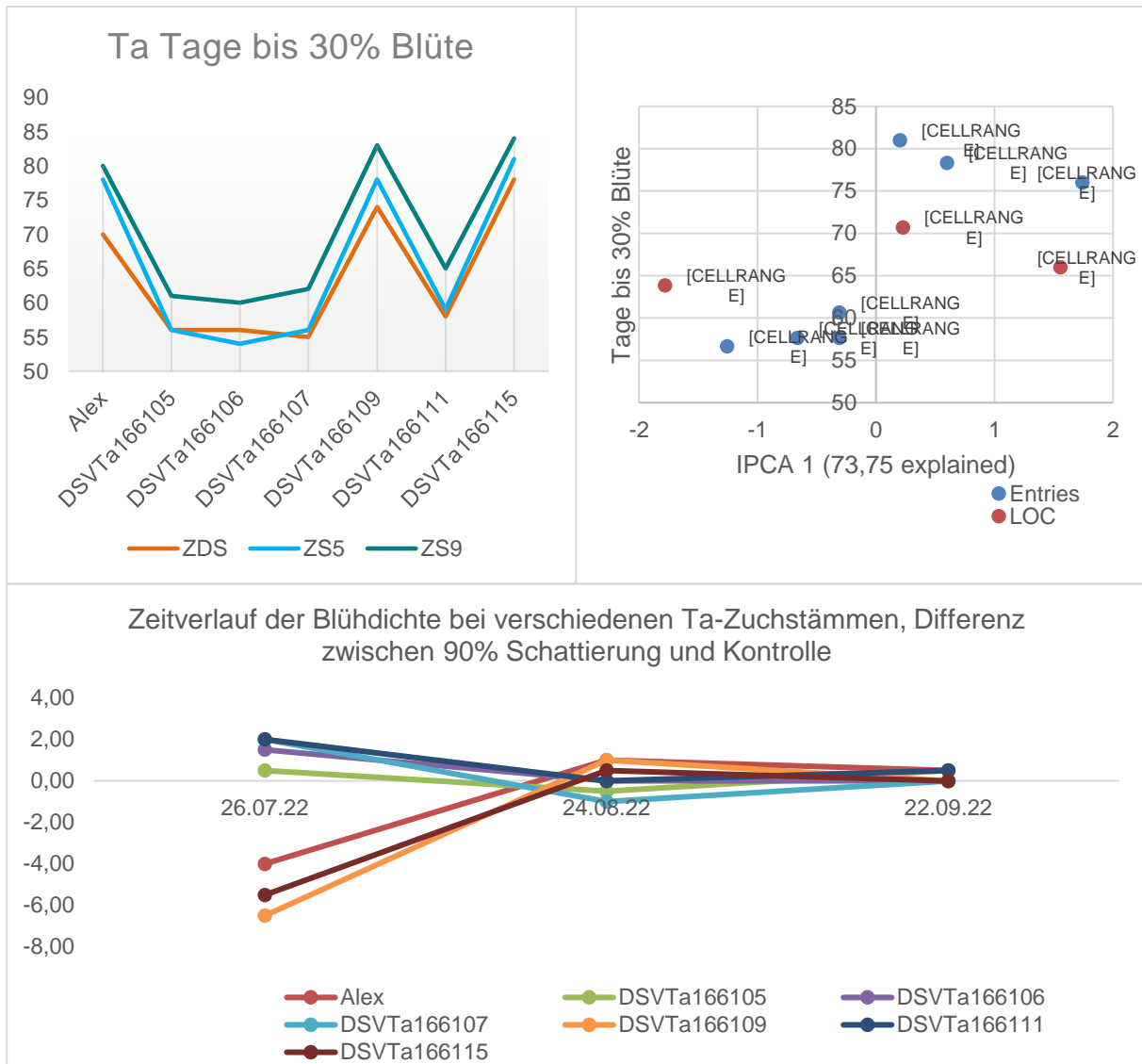


Abb. 46: Zeitverlauf der Tage bis 30% Blüte an drei Boniturterminen, und Blühdichte bei Alexandrinerklee (Ta) unter verschiedenen Schattierungsbedingungen. Differenz zwischen 90% Schattierung und Kontrollbedingungen; Oben links: Interaktion des Merkmals "Tage bis 30% Blüte" über die verschiedenen Schattierungsbedingungen; Oben rechts: AMMI GGE biplot analysis für Tage bis 30% Blüte in den drei Schattierungsbedingungen; Unten: Zeitverlauf der Blühdichte an drei Boniturterminen. Differenz zwischen 90% Schattierung und Kontrollbedingungen; ZDS: Kontrolle (keine Schattierung), ZS5: 50% Schattierung, ZS9: 90% Schattierung



Alexandrinerklee Cv Alex in Kontrollvariante, Mitte/Ende Blüte (links) und bei 90% Schattierung mit noch keiner Blüte (rechts)



Zuchtstamm Ta166105 in Kontrollvariante (links), Mitte/Ende Blüte und 90% Schattierung (Vollblüte) rechts

Abb. 47: Divergierende Reaktion von zwei Alexandriner-Klee Zuchtstämmen auf Beschattung



Abb. 48: Vergleich verschiedener Alexandrinerklee-Zuchtstämme unter 50% Schattierung

Die Anbauprüfung für **Inkarnatklee (Ti)** umfasste acht Prüfglieder mit sowohl früh als auch spät blühendem Material. Abb. 49 zeigt die Ergebnisse sowohl für die Tage bis zur Blüte als auch für die Blütendichte. Es ist eine klare parallele Linie für die drei Schattierungs-Umwelten zu erkennen, mit kaum einer Interaktion zwischen ihnen. Mehr Schatten führt zu einer verzögerten Blütezeit. Wie bei Ta könnten

auch bei Ti die früh blühenden Typen unter den Bedingungen mit wenig Licht bevorzugt werden, da sie mit der Zeit eine höhere Blütendichte aufweisen.

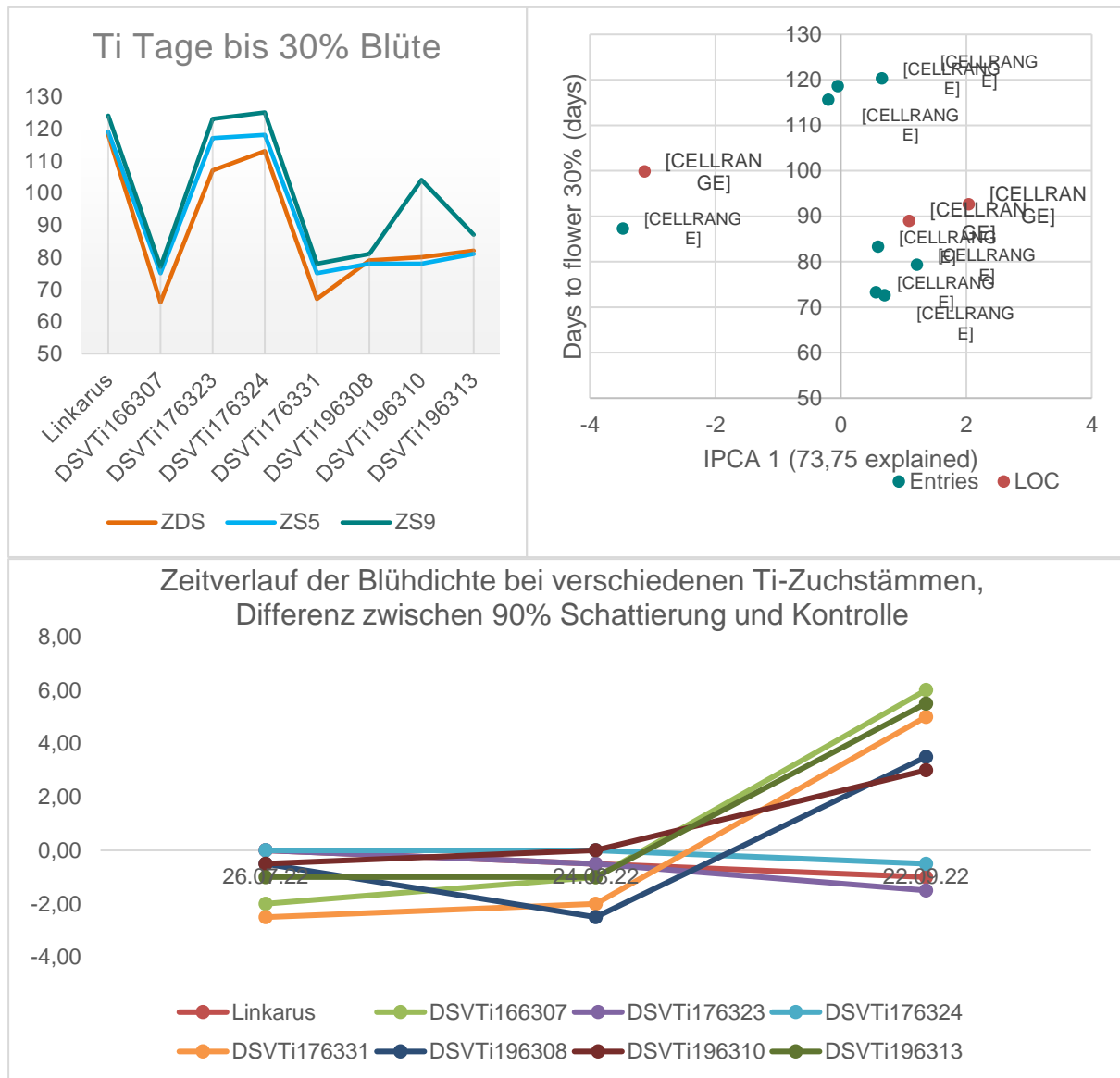


Abb. 49: Oben links: Interaktion der Tage bis 30% Blüte unter verschiedenen Schattierungsbedingungen; Oben rechts: AMMI GGE biplot Analyse für Tage bis 30% Blüte unter drei Schattierungsbedingungen; Unten: Zeitverlauf der Blühdichte an drei Boniturterminen. Differenz zwischen 90% Schattierung und Kontrollbedingungen; ZDS: Kontrolle (keine Schattierung), ZS5: 50% Schattierung, ZS9: 90% Schattierung

Andere Merkmale, die bonitiert wurden, waren unter anderem Blattdichte, Pflanzenhöhe und Mehltau. Hier stellten wir fest, dass insbesondere die Werte für das Auftreten von Mehltau unter 90 % Schatten relativ gut waren. Allerdings war auch die Blattdichte bei allen Prüfgliedern unter 90 % Schattenbedingungen viel geringer als in den anderen beiden Umgebungen, was das relativ geringe Auftreten von Mehltau bei 90 % Schatten erklären könnte. Eine andere Erklärung für den geringeren Mehlaubefall unter 90 % Schatten könnte die Umschließung des Materials sein, und entweder weniger Mehlaupilze und/oder Vektoren wie Blattläuse. Die Frage ist, ob wir hier entsprechende Schlüsse für die Mehlauresistenz ziehen können. Die Prüfglieder, bei denen wir bereits ein gewisses Maß an Resistenz festgestellt haben, zeigen diese jedoch auch unter mildem Mehlaudruck in der 90 %-Schattenumgebung.

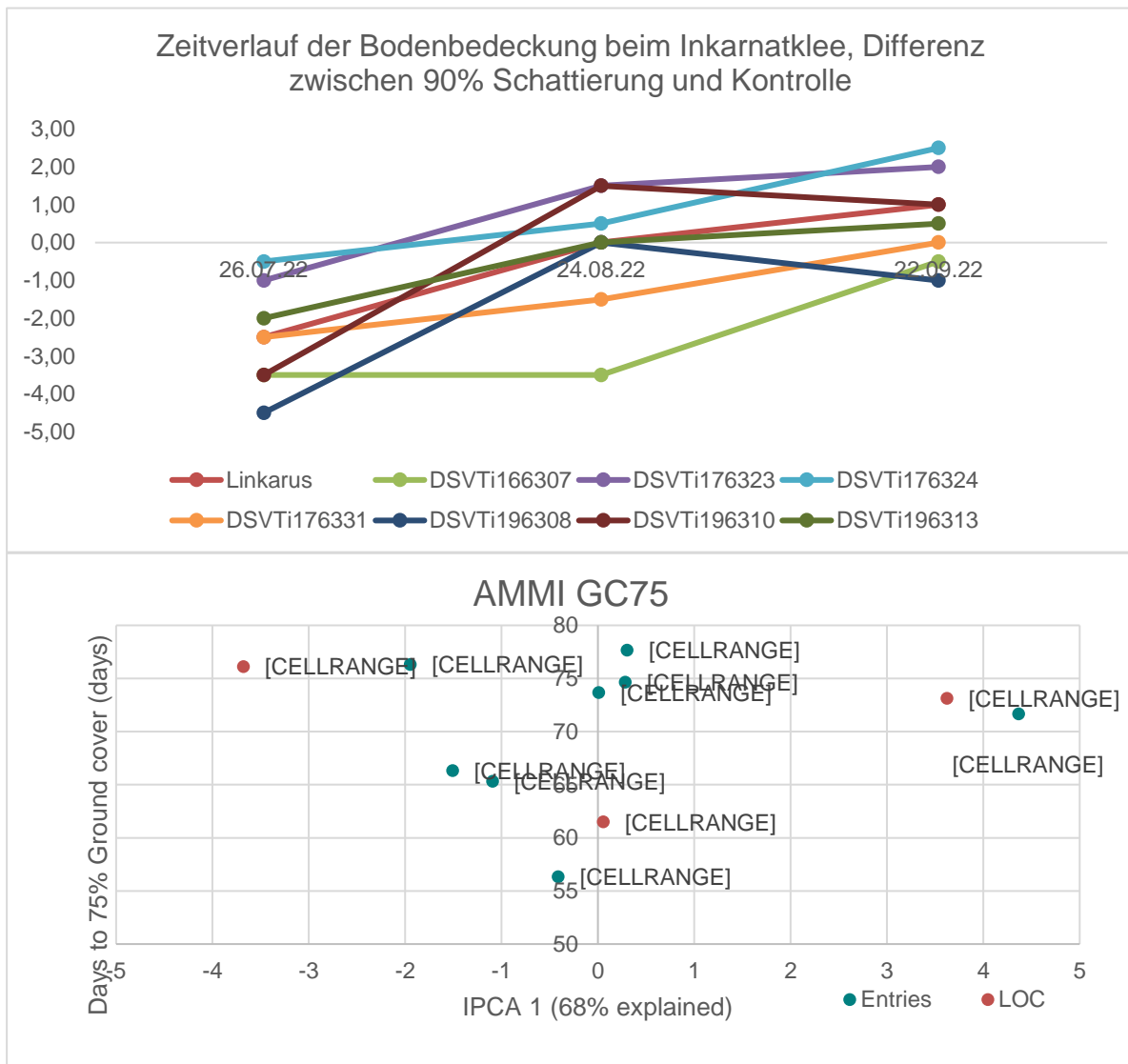


Abb. 50: Bodenbedeckung verschiedener Inkarnatklee-Selektionen unter Schattierungsbedingungen

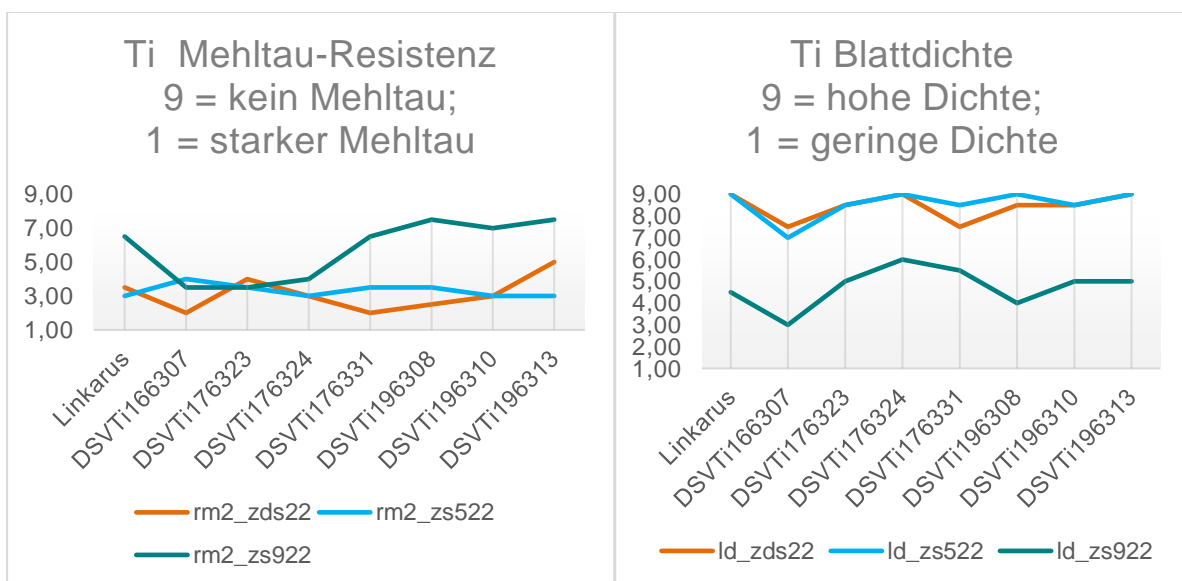


Abb. 51: Vitalitätsparameter verschiedener Inkarnatklee-Akzessionen unter Schattierungsbedingungen
ZDS: Kontrolle (keine Schattierung); ZS5: 50% Schattierung; ZS9: 90% Schattierung



Abb. 52: Mehltau-Befall und Blattdichte in Inkarnatkie-Selektionen unter Schattierungsbedingungen (das Foto zeigt die Variante 50% Schattierung in einem Schattentunnel)

Die Anbauprüfung für Perserklee (Trr) umfasste 6 Prüfglieder mit sowohl früh als auch spät blühendem Material. Abb. 53 zeigt die Ergebnisse sowohl für die Tage bis zur Blüte als auch für die Blütendichte. Wie bei den beiden anderen Kleearten Ta und Ti zeigt sich auch bei Trr ein klarer Trend zur Verzögerung der Blüte bei zunehmendem Schatten in der Umgebung. Dies gilt für alle Prüfglieder, was zu einer Grafik führt, in der die Wechselwirkungen zwischen den Umgebungen gering sind. Die beiden späten Typen (d.h. DSVTa166224 und DSVTa16222) sind in der Blütendichtekurve leicht zu erkennen. Diese beiden weisen die geringste Blütendichte unter suboptimalen Bedingungen im Zeitverlauf auf. Die Schlussfolgerung kann dieselbe sein wie bei Ta und Ti, nämlich dass früh blühendes Material eine längere Blütezeit und -dichte hat als das späte Material.

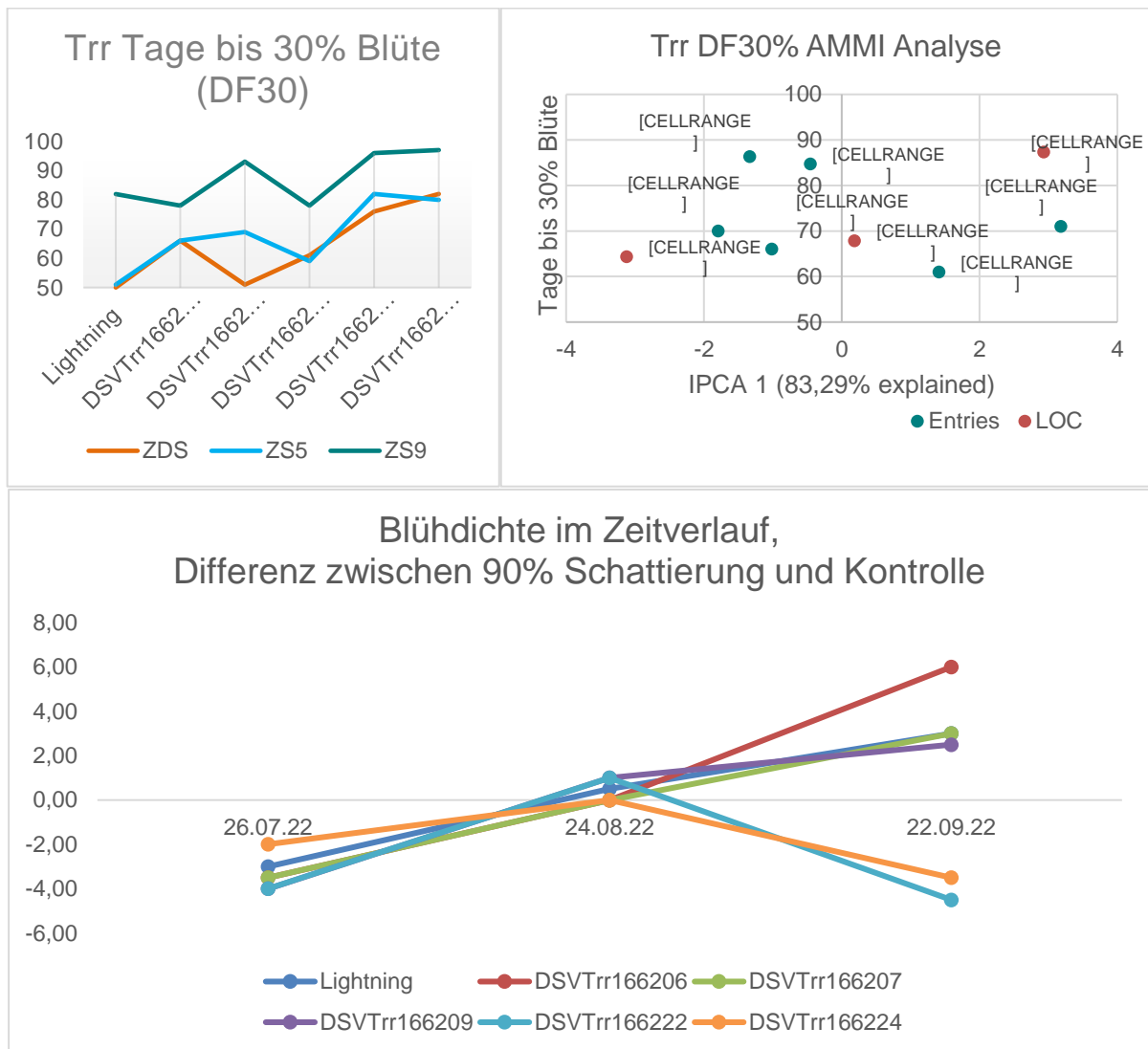


Abb. 53: Vitalitätsparameter von Perserklee unter verschiedenen Schattierungsbedingungen; Oben links: Interaktion der Tage bis 30% Blüte über die verschiedenen Schattierungsbedingungen; Oben rechts: AMMI GGE biplot Analyse für Tage bis 30% Blüte in den drei Schattierungsumwelten; Unten: Zeitverlauf der Blühdichte an drei Boniturterminen. Differenz zwischen 90% Schattierung und Kontrollbedingungen

Andere Merkmale, die in Trr bewertet wurden, sind unter anderem die Bodenbedeckung. Am Ende der Saison (d. h. Ende September) war die Bodenbedeckung in allen drei Umwelten gleichmäßig. In den Monaten davor gab es jedoch einige Unterschiede zwischen den Prüfgliedern zu beobachten. Vor allem DSVTrr166207 bleibt über mehrere Monate hinweg in der Bodenbedeckung gut und schneidet im Schatten sogar etwas besser ab als in der normalen Umgebung. Zu beachten ist, dass der Biomassetyp DSVTrr166224 den Boden schnell bedeckt (Bodenbedeckung 75%). Dies könnte das Wachstum der Nutzpflanze behindern oder sogar mit ihr konkurrieren.

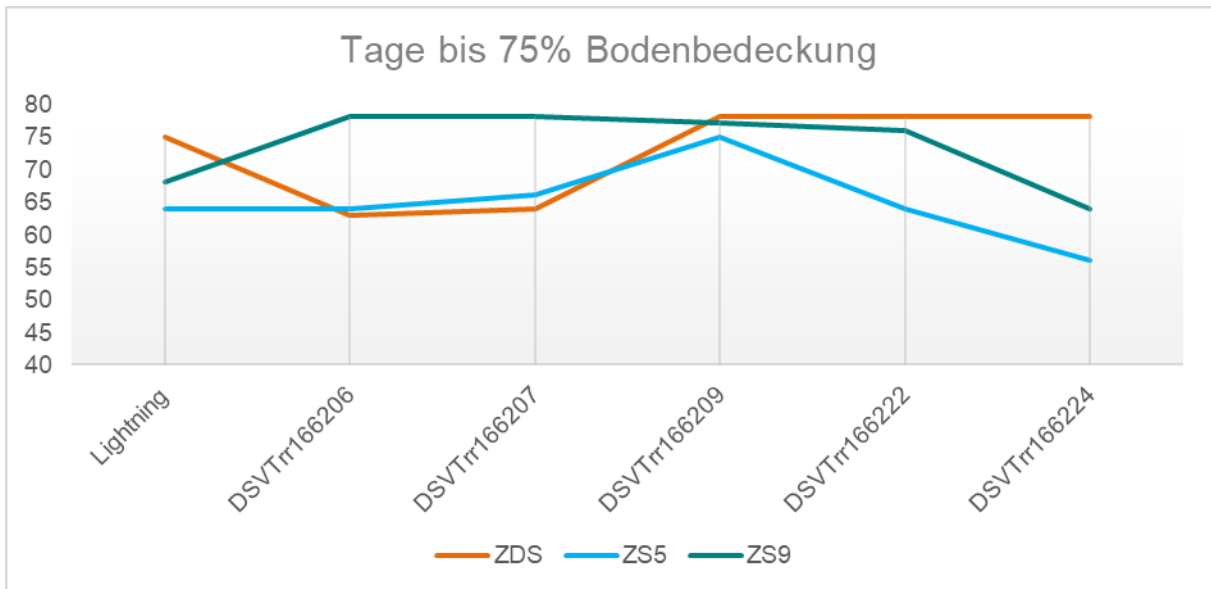


Abb. 54: Tage bis 75 % Bodenbedeckung verschiedener Perserklee (Trr)-Akzessionen im Vergleich

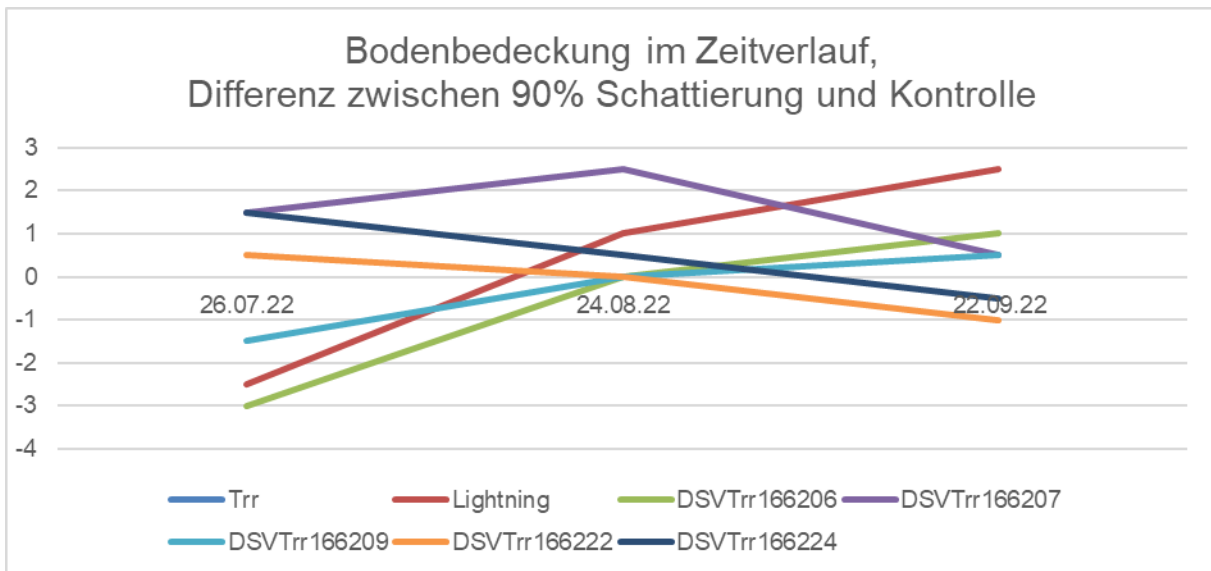


Abb. 55: Bodenbedeckung verschiedener Perserklee (Trr)-Akzessionen im Vergleich

Arbeitspaket 7: Demonstrationsvorhaben in Kooperation mit Praxisbetrieben

Sorghum für die Energieproduktion kann mit verschiedenen Sorghumtypen realisiert werden. Zum einen gibt es die hochwüchsigen Massetyphen mit einer Pflanzenhöhe von bis zu 4 m und auf der anderen Seite die sogenannten DUAL-Typen, die vom Ursprung her längerwüchsige Körnertypen sind. Der wesentliche Unterschied ist hier, dass die Energieproduktion auf der einen Seite von der Massenseite her erfolgt, bei den DUAL-Typen über eine höhere "Futterqualität" durch Stärke-/Körneranteile im Erntegut.

Bezogen auf die mögliche Etablierung einer blühenden Untersaat gibt es aufgrund der unterschiedlichen Wuchslänge der Sorghumsorten unterschiedliche Ansprüche an die Saatzeit der Untersaaten. Längere Sorghumsorten beschatten am Ende der Vegetation die Fläche stärker als kurzwüchsige Sorten. Daher muss bei längeren Sorten die Aussaat der Untersaat früher erfolgen. Dadurch sind die untergesäten Pflanzen zum Zeitpunkt der stärksten Beschattung bereits besser etabliert und überstehen diese Phase besser. Bei früherer Saat unter kurzen Sorghumtypen kann eine Konkurrenzsituation von Untersaat und Hauptfrucht nicht ausgeschlossen werden. Diese Erkenntnisse aus diesem Projekt wurden im Jahr 2022 dann in Praxisversuchen weiter getestet.

Nach ersten Tastversuchen wurde im Frühjahr 2022 an 12 Betriebe bundesweit Sorghumsaatgut verschiedener Wuchstypen sowie eine Untersaatmischung verteilt. Die Betriebe erhielten eine schriftliche Versuchsbeschreibung und wurden in persönlichen Gesprächen informiert. Die Untersaatmischung war eine Komposition aus Arten, die sich in den Vorversuchen bezüglich beschatteten Wachstums als geeignet erwiesen haben. Diese Mischung, DSV TerraLife SoilProtect wurde mit den Arten Deutsches Weidelgras, Spitzwegerich, Öllein, Inkarnatklee, Winterwicke und Schwedenklee entwickelt.

Das Jahr 2022 war von starker Trockenheit geprägt. So kam es dazu, dass der Aufgang der Untersaat vielfach sehr lückenhaft war. Das hat die Aussagekraft dieser Praxisversuche eingeschränkt.

Die Landwirte mussten teils intensiv zum Thema Sorghumanbau beraten werden, während andere seit Jahren schon gute Erfahrungen in Sorghum gesammelt hatten. Es zeigte sich, dass insbesondere die Unkrautbekämpfung ein Problem ist, dieses wird durch die Einsaat einer Untersaat noch erschwert. Es gab aber auch sehr erfahrene Betriebe, die sogar ganz auf den chemischen Pflanzenschutz verzichteten und trotzdem einen sehr guten Sorghumbestand etablierten.

Die Betriebe sind alle persönlich besucht worden. Es wurden dort, wo der Bestand trotz der Trockenheit vorzeigbar war, auch Feldtage abgehalten. Es konnten zahlreiche interessierte Landwirte zum Thema beraten werden. Generell lässt sich als Ergebnis festhalten, dass zunächst der Sorghumanbau mit allen technischen Fragen bei den Landwirten etabliert werden muss. Die Anlage einer Untersaat ist dann ein zweiter Schritt.



Abb. 56: Gelungener Mischanbau auf Praxisbetrieben. Oben: Sorghum cv Voyenn mit einem Gras-Wicken-Klee-Gemenge. Unten: Sorghum cv Vilomene mit einem Phacelia-Klee-Gemenge

2. Verwertung

a) Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen

Es wurden keine Schutzrechte erteilt, da auch keine Schutzanmeldungen getätigt wurden.

b) Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Die in SoBinEn erzielten Ergebnisse konnten einige potenziell geeignete, insektenfreundliche Sorghumgemenge identifizieren. Gleichzeitig wurden aber auch die besonderen Herausforderungen des Mischanbaus, wie z. B. die Wahl geeigneter Saatechniken, Saatstärken, Beikrautregulierung etc. sehr deutlich. Auch waren einige Teilversuche durch Witterungsextreme leider nicht auswertbar. Aus diesen Gründen können daher aktuell noch keine praxistauglichen Empfehlungen für den Sorghum-Mischanbau getroffen werden. Hierfür sind weitere Untersuchungen und Optimierungen an mehreren Stellschrauben nötig, weshalb eine Fortführung und Weiterentwicklung der Versuche im Rahmen eines Folgeprojekts als sehr wünschenswert erscheint. Nur dann können landwirtschaftlichen Betrieben konkrete Untersaat- und Anbauempfehlungen ausgesprochen werden, die einen abgesicherten Anbau ermöglichen. Solche Gemenge könnten dann auch kommerziell vermarktet werden, und dem Wirtschaftspartner DSV einen Rückfluss der bisherigen Investitionen in den Sorghum-Mischanbau erlauben.

c) Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende

Durch die in "SoBinEn" entwickelten Methoden und Ergebnisse konnten die wissenschaftlich-beraterischen Projektpartner JLU, LLH und TFZ ihre Expertise in der Sorghumforschung weiter ausbauen. Präsentationen auf internationalen Wissenschafts-Tagungen (z. B. "XXVth EUCARPIA Maize and Sorghum Conference", Belgrad 2022) und geplante Publikationen in wissenschaftlichen Fachzeitschriften werden das Renommee des Agrarforschungsstandorts Deutschland stärken, und machen JLU als Partner für zukünftige internationale Kooperationen interessant. Ebenso konnten LLH und TFZ ihr Ansehen in der Sorghumforschung durch praxisorientierte Präsentationen weiter ausbauen, und ihre Attraktivität als Partner für zukünftige Kooperationen steigern. SoBinEn ermöglichte zahlreiche Abschlussarbeiten (B. Sc. und M. Sc.) und eine Dissertation, wodurch ein Beitrag zur Ausbildung von dringend benötigtem wissenschaftlichen Nachwuchs in der Pflanzenforschung geleistet wurde.

d) Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Wie bereits in 2 d) erwähnt, konnten in SoBinEn wichtige Grundlagen des Sorghum-Mischanbaus unter mitteleuropäischen Bedingungen erforscht werden. Für einen erfolgreichen Anbau in der Praxis sind jedoch noch weitere Versuche und Optimierungen zwingend notwendig. Hieraus ergibt sich die wissenschaftliche Anschlussfähigkeit für Folgeprojekte, welche die als sinnvoll erachteten Mischungen hinsichtlich pflanzenbaulicher Aspekte weiter optimieren sollten. Zudem erscheint es uns sinnvoll, die Züchtung von untersaat-kompatiblen (erektophilem) Sorghum, sowie besonders schattentoleranten und blührefreudigen Zuchtstämmen der Untersaat-Komponenten weiter zu forcieren. Basierend auf diesen zukünftigen Ergebnissen kann dann auch eine wirtschaftliche Anschlussfähigkeit, d.h. Vermarktung und Kommerzialisierung entsprechender Mischungen, gelingen.

3. Erkenntnisse von Dritten

Zu einem abschließenden Projekttreffen in Straubing wurden auch externe Experten zum Sorghumanbau aus Deutschland und Österreich eingeladen, um sich gemeinsam über die Erkenntnisse auszutauschen. Leider waren die Expertinnen und Experten allesamt – teilweise sehr kurzfristig vor dem Treffen – verhindert.

Wissenschaftliche Publikationen speziell zu den pflanzenbaulichen Aspekten des Mischanbaus mit Sorghum konzentrieren sich hauptsächlich auf den Futterbau im Nahen Osten oder in subtropischen Bereichen der USA und waren kaum auf die hiesigen Bedingungen übertragbar. Einzig Veröffentlichungen und Erfahrungen zu Mais-Stangenbohnen-Mischanbau konnten bedingt Erkenntnisse bieten.

4. Veröffentlichungen

Das **TFZ** fokussierte sich auf praxisnahe Veröffentlichungen für die Zielgruppen Multiplikatoren in der Landwirtschaftsverwaltung sowie Landwirtinnen und Landwirte direkt:

Rehak, K.; Fritz, M. (2021): Blühende Untersaaten im Sorghumfeld. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.): Schule und Beratung, 11-12/2021, S. 23–25

Rehak, K.; Fritz, M. (2021): Blühende Untersaaten – Sorghum-Blühmischungen für einen insektenfreundlichen Energiepflanzenbau. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt 44, S. 33–34

Seitens **JLU** wurde das Vorhaben auf folgenden Tagungen präsentiert:

3rd European Sorghum Congress, Toulouse, Frankreich, 12.-13.10.2021

Titel: „SOBINEN: Insect friendly energy cropping systems: combination of sorghum with flowering undersown crops“

EUCARPIA Maize and Sorghum Conference, Belgrad, Serbien, 30.05 – 02.06.2022

Titel: „SOBINEN: Insect friendly energy cropping systems: combination of sorghum with flowering undersown crops“

GPZ-Hauptagung „Breeding plants for tomorrow’s world – challenges and solutions“, Düsseldorf, Deutschland, 12.-14.09.2022

Titel: „SOBINEN: Insect friendly energy cropping systems: combination of sorghum with flowering undersown crops“

Global Sorghum Conference, Montpellier, Frankreich, 05.-09.2023

Titel: „SOBINEN: Insect friendly energy cropping systems: combination of sorghum with flowering undersown crops“

Wissenschaftliche Publikationen in Fachzeitschriften mit peer-review befinden sich in Vorbereitung.

Seitens des **LLH** erfolgten folgende Veröffentlichungen:

Berger, L.; Siede, R.; Windpassinger, S.; Büchler, R. (2022): Bunte Bioenergie: Wie Bienen vom Mischanbau mit Sorghum profitieren. In: Arbeitsgemeinschaft der Institute für Bienenforschung e. V. (Hg.): Tagungsband 69. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft der Institute für Bienenforschung e.V. Michelsberg, 5.- 7. 4. 2022. Landesanstalt für Bienenkunde und des Fachgebiets für Populationsgenomik bei Nutztieren der Universität Hohenheim, S. 45.

Siede, Reinhold; Windpassinger, Steffen; Büchler, Ralph (2021): Insektenfreundliche Bioenergieerzeugung auf dem Acker: Mischanbau von Sorghumhirsen mit blühenden Untersaaten. In: Arbeitsgemeinschaft der Institute für Bienenforschung e. V. (Hg.): 68. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft der Institute für Bienenforschung e.V. Unter Mitarbeit von C. Westphal, S. Pfeiffer und H. P. Tu. 68. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft der Institute für Bienenforschung e.V. online, 24.03. Georg August Universität Göttingen, S. 19.

Siede, Reinhold; Berger, Luca Malena; Müller, Joshua; Meixner, Marina Meixner, Windpassinger, Steffen (2023): Energiesorghum im Gemengeanbau – Nahrungsressourcen für Bienen. In: Biogas in der Landwirtschaft - Stand und Perspektiven. FNR/KTBL-Kongress am 11. und 12. September 2023 in Bonn. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (KTBL-Schrift, 11535).

ANHANG

Teilvorhaben 1: Untersuchungen zur Variation und genetischen Determination von für Untersaat-Kompatibilität wichtigen Pflanzenarchitekturmerkmalen bei Sorghum (2219NR192)

1. Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens

Im Vorhaben SoBinEn soll die Kombination von Sorghum bicolor Dualtyp-Hybriden mit insektenfreundlichen Gemengen und Untersaaten geprüft werden. Für Bienen und andere Bestäuber kann dadurch zusätzlich zum als Proteinquelle fungierenden Sorghumpollen auch wertvoller Nektar bereitgestellt werden. Die Mischungen werden die ökologische Wertigkeit von Bioenergie-Fruchtfolgen hinsichtlich Diversität, Erosionsschutz, Verringerung der Nitratauswaschung im Winter (bei Fortführung der Untersaat) und Humusbilanz verbessern. Synergie-Effekte des Mischbaus, wie z. B. eine verbesserte Bestäubungsleistung an Sorghum durch von der Untersaat zusätzlich angelockte Bienen, tragen zusätzlich zu einer Ertragsstabilisierung unter wechselnden Umweltbedingungen bei. Der in diesem Vorhaben geplante Ansatz bietet daher die Möglichkeit, die Akzeptanz des Energiepflanzenanbaus bei Landwirten und der Gesellschaft insgesamt nachhaltig zu verbessern.

Konkretes Ziel des Teilvorhabens sind Untersuchungen der für Untersaat-Kompatibilität wichtigen Pflanzenarchitekturmerkmale bei Sorghum. Sorghum-Ideotypen für den Mischbau sind vermutlich erektophil, d. h. sie zeichnen sich durch eine aufrechte Blattstellung und ein vertikales Wurzelsystem aus. Durch die daraus resultierende geringere Bodenbeschattung sowie geringere Wasserkonkurrenz in oberen Bodenschichten kann voraussichtlich eine bessere Vitalität der Untersaaten erzielt werden. Dieser Ansatz soll in einer "Proof-of-Concept"-Studie verifiziert werden. Zudem sind Analysen zur phänotypischen Variation und genetischen Determination der Pflanzenarchitektur-Merkmale an einer für die Merkmale spaltenden, biparentalen RIL-Population sowie an einem Diversitätsset geplant.

2. Bearbeitete Arbeitspakete

Arbeitspaket 1: Prüfung einer großen Anzahl Gemenge und Untersaaten in Sorghum Dualtyp-Hybriden auf Wert für Insekten und Praxistauglichkeit

JLU beteiligte sich mit der Durchführung und Auswertung der Versuche an den Standorten Groß-Gerau und Rauschholzhausen.

Arbeitspaket 2: Optimierung selektierter Kombinationen hinsichtlich pflanzenbaulicher Aspekte und Sortenwahl

JLU beteiligte sich mit der Durchführung von Versuchen zur produktionstechnischen Optimierung des Mischbaus am Standort Rauschholzhausen. Batch-Versuche zur Methanausbeute selektierter Varianten wurden in der experimentellen Biogasanlage in Rauschholzhausen durchgeführt. Ferner wurden photoneutrale Lablab-Akzessionen in Groß-Gerau vermehrt, und 2023 im Rahmen der kostenneutralen Verlängerung im Mischbau mit Sorghum in Feldversuchen in Groß-Gerau und Rauschholzhausen geprüft.

Arbeitspaket 3: Untersuchung der Wertigkeit der selektierten Kombinationen für Bienen und andere Insekten in zweijährigen, großflächigen Versuchen

JLU übernahm die pflanzenbauliche Betreuung der für dieses Arbeitspaket in Groß-Gerau und Rauschholzhausen angelegten Versuche.

Arbeitspaket 4: Phänotypisierung des Sorghum-Pflanzenmaterials auf für Gemenge bzw. Untersaat-Kompatibilität wichtige Merkmale

Dieses Arbeitspaket stellte einen Schwerpunkt der Arbeiten des Teilvorhabens 1 dar.

Arbeitspaket 5: Untersuchungen zur genetischen Determination der Zielmerkmale für Untersaatkompatibilität

Dieses Arbeitspaket stellte einen Schwerpunkt der Arbeiten des Teilvorhabens 1 dar.

Arbeitspaket 8: Datenauswertung, Interpretation und Publikation

3. Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens

Für die Untersaatkompatibilität vermutlich wichtige Pflanzenarchitekturmerkmale wurden sowohl an einem Diversitätsset, als auch an einer für Blattstellung spaltenden, biparentalen RIL-Population erfasst. Geeignete erektophile Genotypen wurden selektiert und für die Erstellung von neuem Zuchtmaterial verwendet. In beiden Fällen zeigten sich hoch-signifikante Unterschiede für Blattstellungsmerkmale. An einer Auswahl extremer Genotypen der RIL-Population wurden auch detaillierte Wurzelmerkmale in Rhizotronversuchen untersucht.

Die Untersuchungen zur genetischen Determination der Blattstellung wurden am Diversitätsset als genomweite Assoziationsstudien (GWAS) und an der RIL-Population als QTL-Studie durchgeführt. Beide Studien deuten auf eine stark quantitative Merkmalsausprägung hin.

Zusätzlich wurde die RIL-Populationen in einem Parzellenversuch mit einer einheitlichen Sorte Schwedenklee als Untersaat angebaut. Ziel dieser Versuchsanlage war es zu analysieren, welchen Einfluss verschiedene Pflanzenarchitekturmerkmale des Sorghums auf Vitalitätsparameter der Untersaat haben. Alle am Schwedenklee erfassten Parameter (Trockenmasse, Höhe, Tage bis Blüte, Mehltau) wurden signifikant von den Sorghum- Genotypen beeinflusst. Dieses Ergebnis bestätigt die Annahme, dass die Auswahl passender Sorghum-Zuchtstämme entscheidend für die Vitalität der Untersaaten ist. Erektophile Sorghum-Genotypen mit niedriger Wuchshöhe und späterer Blüte begünstigen die Entwicklung von Schwedenklee, die diesbezüglichen bivariaten Korrelationen waren allerdings nur schwach. Vermutlich ist für die Untersaat die Kombination zahlreicher Faktoren entscheidender, als ein Faktor für sich alleine betrachtet. Ebenso lässt sich anders als erwartet von einer aufrechten Blattstellung nicht auf eine vertikale Wurzelarchitektur schließen. Dies erschwert die gezielte Züchtung von "untersaatenfreundlichem" Sorghum, da sich keine klaren Selektionsmerkmale mit starken Effekten ableiten lassen.

Teilvorhaben 2: Untersuchungen zur Wertigkeit der Sorghum-Blühpflanzengemeinde für Bienen (2219NR452)

1. Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens

Bioenergiefruchtfolgen sind stark von Mais dominiert. Um die engen, maislastigen Fruchtfolgen aufzulockern, werden alternative Kulturen gesucht. Sorghumhirsen (*Sorghum bicolor*) sind vielversprechende Kandidaten. Sorghum ist eine Pflanze, die einen niedrigeren Wasserbedarf hat und hohe Temperaturen sowie Phasen längerer Trockenheit gut übersteht. Die Biomasseerträge moderner Sorghumdualtypen können das Niveau von Mais erreichen. Außerdem haben sich diese Dualtypen als attraktive Pollenquelle für Bienen erwiesen. Ziel des vorliegenden Projektes ist es, mit Sorghum konkurrenzfähige Erträge zu realisieren und gleichzeitig die agrarökologische Wertigkeit der Biomasseerzeugung für die Welt der blütenbesuchenden Insekten weiter zu erhöhen. Dies soll durch den Gemengeanbau von Sorghum mit nektar- und pollenliefernden Blühpflanzen erreicht werden.

Das SoBienen-Teilvorhaben 2 besteht aus einem dreistufigen Versuchsansatz: In einem Kleinparzellenversuch wurden über 30 verschiedene diverse Insektennahrungspflanzen wie z. B. Kleearten, Bohnen und verschiedene Kreuzblütler auf ihre Eignung für den Mischanbau mit Sorghum und auf ihre Wertigkeit für die Bienen getestet. Danach wurde in einem Flugzeltversuch mit Honigbienenstöckchen die nutritive Qualität ausgewählter, vielversprechende Gemenge der ersten Teststufe geprüft. Abschließend wurde die besonders interessante Kombination aus Klee und Sorghum in Großparzellen an zwei Standorten und in zwei Jahren unter landwirtschaftlichen Realbedingungen angebaut. Versuchsbienvölker wurden in einem Entfernungsgradienten zu den Versuchsflächen aufgestellt. Pflanzen und Bienen wurden regelmäßig bewertet. Zusätzliche Erhebungen wie eine molekulargenetische und mikroskopische Bestimmung des Pollensammelgutes und Transektbegehungen der Fläche zur Bestimmung der Blütenbesuche komplementierten die Untersuchungen.

2. Bearbeitete Arbeitspakete

Arbeitspaket 1: Prüfung einer großen Anzahl Gemenge und Untersaaten in Sorghum Dualtyp-Hybriden auf Wert für Insekten und Praxisauglichkeit

LLH übernahm den "Insektenpart" dieses Vorhabens und führte umfangreiche Bonituren zum Blütenbesuch an den Standorten Rauschholzhausen und Groß-Gerau durch.

Arbeitspaket 2: Optimierung selektierter Kombinationen hinsichtlich pflanzenbaulicher Aspekte und Sortenwahl

LLH übernahm die Akquise photoneutraler Lablab-Akzessionen, und beteiligte sich an den Versuchen zur Optimierung des Sorghum/Lablab-Mischanbaus.

Arbeitspaket 3: Untersuchung der Wertigkeit der selektierten Kombinationen für Bienen und andere Insekten in zweijährigen, großflächigen Versuchen

Dieses Arbeitspaket bildete einen Schwerpunkt des Teilvorhabens.

Arbeitspaket 7: Demonstrationsvorhaben in Kooperation mit Praxisbetrieben

Die vom LLH angelegten Praxisflächen des Sorghum-Mischanbaus dienten neben der Untersuchung der Insektenwertigkeit auch dem Demonstrationsanbau und der Diskussion mit Praktikern.

Arbeitspaket 8: Datenauswertung, Interpretation und Publikation

3. Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens

In den Parzellenversuchen konnten leistungsstarke Kombinationen identifiziert werden, die von blütenbesuchenden Insekten sehr stark frequentiert wurden. Viele dieser Kombinationen waren substantielle Nahrungsressourcen für Honigbienen, Wildbienen, Schmetterlinge und Schwebfliegen. Wenn auch der Gemengeanbau zu einer gewissen Ertragsreduktion im Vergleich zum Sorghumreinanbau führte, wurden einige Kombinationen gefunden, deren Masseerträge statistisch nicht von den Erträgen der Vergleichsvariante Sorghumalleinanbau unterscheidbar waren. Vielversprechende Gemenge waren Mischungen aus Sorghum mit Perserklee, Schwedenklee und Alexandrinerklee. Die Wertigkeit dieser Mischungen für die Entwicklung von Bienenvölkern wurde in Flugzeltversuchen geprüft. Die Honigbienenstöckchen in den Flugzelten beweideten die Trachtpflanzen

der jeweiligen Gemenge und konnten mit diesen Ressourcen Brut aufziehen. Die Versuche belegten grundsätzlich den Wert des Mischanbaus für Bienen. Die interessanten Klee-Sorghummischungen wurden in der dritten Teststufe auf Großparzellen geprüft. Der Großparzellentest zeigte pflanzenbaulichen Herausforderungen beim Gemengeanbau. Widriges Wetter bei der Aussaat, Unkrautdruck und sommerliche Trockenheit limitierten das angestrebte Blühangebot. Unter den gegebenen Voraussetzungen war im ersten Versuchsjahr kein Effekt der Großparzelle auf die Testvölker abbildbar. Im zweiten Versuchsjahr wurde ein statistisch signifikanter positiver Effekt des Sorghums an einem der beiden Versuchsstandorte gefunden. Das Sammelgut der Bienenvölker des ersten Jahres bestand hauptsächlich aus Pollen der Blühpflanzen der Umgebung. Offensichtlich bot die umliegende Agrarlandschaft attraktive Pollenpflanzen an. Im zweiten Jahr am Standort zwei war das Umgebungsangebot sehr begrenzt, so dass ein deutlicher Nutzen der Versuchsfläche im Vergleich zu den Mangelplätzen ohne Blühangebot erkennbar wurde.

Teilvorhaben 3: Produktionstechnik und Gewässerschutzpotenzial von Untersaaten und Misanbau mit Sorghum Dualtyp-Hybriden (2219NR445)

1. Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens

Neben dem jährlich durchgeführten einjährigen Kernversuch war das TFZ auch am Zweijährigen Kernversuch und dem überjährigen Strip-Till-Versuch beteiligt. Der Fokus des Teilvorhabens lag auf den produktionstechnischen Versuchen zu Aussaatzeitpunkt, gemeinsamer Gemengesaat, Reihenweite-Versuch, Grasbeimengung sowie dem nur in 2022 durchgeführten Versuch zur Saattiefe. Mit diesen Ansätzen sollten praktische Hemmnisse bei der Umsetzung frühzeitig erkannt und behoben, sowie das pflanzenbauliche Zusammenspiel von Deckfrucht Sorghum und den Untersaaten bzw. Begleitkulturen optimal gestaltet werden. Zudem wurden in 2021 und 2022 spezielle Versuche zur Unterstützung der Sorghumzüchtung durchgeführt.

Darüber hinaus sollten Vor- und Nachteile dieser Anbauformen für den Gewässerschutz untersucht werden, allerdings stellten sich in den Analysen des mineralischen Stickstoffgehalts (N_{min}) zu Vegetationsende keine signifikanten Unterschiede heraus, die Schwankungsbreite der ermittelten Werte war zu gering. Daher wurde mittels Weender Analysen zum Futterwert der geernteten Biomasse versucht, Qualitätsunterschiede im Biogassubstrat nachzuweisen, was allerdings mangels mitbeernteter Biomasse der Untersaaten kaum gelang.

2. Bearbeitete Arbeitspakete

Arbeitspaket 1: Test verschiedener Sorghum-Gemenge und Untersaaten auf ihre agronomische Leistungsfähigkeit

Das TFZ beteiligte sich mit der Durchführung und Auswertung der Versuche am Standort Straubing (2020, 2021, 2022).

Arbeitspaket 2: Optimierung geeigneter Sorghum-Mischungen hinsichtlich pflanzenbaulicher Aspekte und Sortenwahl

Dieses Arbeitspaket war der Schwerpunkt der Arbeiten des TFZ. Insgesamt konnten zwei unterschiedliche Ansätze zur konkreten Umsetzung des Untersaaten-Anbaus für die Praxis abgeleitet werden, wobei einschränkend festgehalten werden muss, dass in keinem Fall eine Ertragssteigerung gegenüber den Reinsaat-Kontrollen erreicht wurde. Genauere Ergebnisse zu diesem Arbeitspaket sind im Schlussbericht dargestellt.

Arbeitspaket 7: Demonstrationsvorhaben in Kooperation mit Praxisbetrieben

Für dieses Arbeitspaket stellte das TFZ Kontaktdaten von interessierten Landwirten der Region dem Projektpartner DSV zur Verfügung und stand diesen für individuelle Beratung via Telefon und E-Mail zur Verfügung. Auf den nicht von Versuchen belegten Restflächen der jährlich wechselnden Versuchsfelder des TFZ wurde jedes Jahr eine Mais-Sorghum-Beisaaten-Mischung angebaut, die von Praktikern an Feldtagen stets positiv beurteilt wurde.

Arbeitspaket 8: Datenauswertung, Interpretation und Publikation

3. Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens

Wie bereits im Kapitel zuvor beschrieben, können der Gemenge-Misanbau und die zeitversetzte Aussaat der Untersaaten als Mittel der Wahl für Praktiker empfohlen werden, um den Untersaatenbau in Sorghum durchzuführen.

Für den Gemenge-Misanbau sind – nach einjähriger repräsentativer Durchführung – die Untersaaten/Begleitkulturen Sonnenblume, Platterbse und Perserklee zu empfehlen. Dabei ist genau auf eine geringe Dosierung der Untersaaten zu achten, beispielsweise für die Sonnenblume hat sich die Saattiefe von maximal einem Sonnenblumenkorn je Quadratmeter bewährt. Eine Zugabe von Sojaschrot in mindestens doppelter Menge zum eigentlichen Saatgut schützt vor Entmischung. Vor allem mit der Sonnenblume werden ein weithin sichtbares Blütenangebot und damit eine positive Außenwirkung erzielt, die Praktiker sehr interessierte. Auch für die Platterbse sind Konkurrenz und Saatgutkosten wegen der geringen, aber effektiven Aussaatstärke von einem bis drei Korn Platterbse/m² kein Problem. Denkbar ist eine Kombination aus Platterbse und Sonnenblume mit jeweils einem Korn/m², um das Blühzeitfenster zu verlängern. Die dritte empfehlenswerte Untersaat, die in diesem System gut funktionierte, ist der Perserklee. Wenn der Perserklee allein als Untersaat verwendet wird, sollte mit einem Saatgutbedarf von maximal 50 % der Reinsaat kalkuliert werden, bei Kombination mit Sonnenblume nur 25 %. Der Arbeits- und Kostenaufwand für die Aussaat und das Untersaaten-

Saatgut ist dabei sehr gering, die Konkurrenz zu Sorghum stellt kein Risiko dar. Als Reihenabstand für den Gemengeanbau wird nach jetzigem Kenntnisstand der halbe Maisabstand (37,5 cm) empfohlen, damit die Möglichkeit einer mechanischen Unkrautkontrolle mittels Hacke besteht. Auf ausgesprochen sauberen Flächen kann auch ein Getreide-Reihenabstand gewählt werden.

Die Phacelia kristallisierte sich als die wertvollste Untersaat für die Blütenbesucher heraus, ist allerdings pflanzenbaulich schwierig zu führen. Für Praktiker ist sie daher nur mit großer Vorsicht einzusetzen: Die Saatgutkosten sind niedrig, aber die Konkurrenz zu Sorghum kann schnell zu hoch sein. Weiterhin ist bei der Phacelia auf das mögliche Aussamen der Pflanzen zu achten. Die Dosierung des winzigen Saatgutes ist schwierig und Phacelia ist ein Dunkelkeimer, was bedeutet, bei kontrollierter Einsaat wie auch bei einem starken Niederschlag nach dem Aufstreuen ist der Fedlaufgang sehr hoch.

Als zweites Anbausystem ist die zeitversetzte Aussaat der Untersaaten für die Praxis zu empfehlen. Der große Vorteil dieses Anbausystems liegt in der Flexibilität, vor der Aussaat der Untersaat noch eine mechanische oder ggf. chemische Unkrautbekämpfung durchführen zu können. Die Konkurrenz zwischen Sorghum und Untersaat wird durch die versetzte Saat wirkungsvoll verhindert. Die Flexibilität dieses Anbausystems ist allerdings mit einem höheren Arbeitsaufwand durch die doppelte Aussaat verbunden. Für die versetzte Aussaat haben sich Perserklee sowie Buchweizen in Mischung mit Perserklee bewährt. Die Aussaatstärke des Perserklees kann hier ebenfalls mit 50 % der Reinsaatstärke angesetzt werden. In Mischung mit Buchweizen ist darauf zu achten, dass der Buchweizenanteil in der Mischung 5 bis maximal 10 % nicht überschreitet. Da der Buchweizen, wie die Phacelia, während der Standzeit absamt, ist er bei Praktikern mit Zuckerrüben-Fruchtfolgen ungeeignet. Das Entwicklungsstadium BBCH 11–12 von Sorghum hat sich im Versuchszeitraum bewährt, je nach Witterung und ggf. Hackeinsatz ist die Einsaat bis BBCH 13–14 möglich. Spätere Saattermine der Untersaat reduzieren oder verhindern eine Blüte, da sie von Wuchsbeginn an vom Sorghum beschattet werden.

Zum erwarteten Gewässerschutz durch geringe N_{\min} -Gehalte zu Vegetationsende konnten nur bedingt Aussagen abgeleitet werden. Gut entwickelte Gesamtbestände bzw. gut entwickelte Untersaaten/Begleitkulturen führten eher zu geringen mineralischen Stickstoffgehalten. Leguminosen führten dabei nicht zu einer Anreicherung des N_{\min} . Die Daten der in 2021 und 2022 Futterwertanalysen waren ebenfalls durch die geringen Untersaatanteile beeinflusst, es ließen sich keine Qualitätsvorteile, aber auch keine nachteiligen Effekte der Untersaaten-Anbausysteme ableiten.

Teilvorhaben 4: Produktionstechnik und Gewässerschutzpotenzial von Untersaaten und Mischanbau mit Sorghum Dualtyp-Hybriden (2219NR445)

1. Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens

Das Projekt zielt auf einen Biomasseanbau ab, der die Insektenpopulationen fördert, indem eine Begleitkultur mit einer Nutzpflanze verwendet wird. Aus diesem Grund wird die Kombination von Sorghum bicolor-Dualtyp-Hybriden und hochwüchsigen Massetypen mit verschiedenen insektenfreundlichen Mischungen und Untersaaten auf die agronomische Lebensfähigkeit sowie die Anzahl der Insekten im Feld getestet. Dadurch kann das Blühfenster der für die Bioenergieerzeugung genutzten Flächen deutlich verlängert werden und neben Sorghum-Pollen als Proteinquelle auch wertvoller Nektar für Bienen und andere Bestäuber im Sommer zur Verfügung gestellt werden. Diese Mischungen verbessern den ökologischen Wert von Bioenergiefruchtfolgen im Hinblick auf die Vielfalt, den Erosionsschutz, die Verringerung der Nitratauswaschung im Winter und die Humusbilanz. Synergieeffekte des Mischanbaus, wie z.B. eine verbesserte Bestäubungsleistung von Sorghum durch Bienen, die zusätzlich von den untergesäten Arten angezogen werden, tragen ebenfalls zur Ertragsstabilisierung unter wechselnden Umweltbedingungen bei.

Bei der Phänotypisierung der Mischungspartner und Untersaaten auf Beschattungstoleranz werden die Pflanzenarchitektur und die Voraussetzungen untersucht, die erforderlich sind, damit eine Begleitpflanze als solche funktionieren kann, ohne das Ertragspotenzial der Hauptkultur Sorghum zu beeinträchtigen. Der Vorteil eines Schattentunnels besteht darin, dass ein ähnliches Umfeld geschaffen wird, wie es für die Begleitpflanze vorhanden wäre, wenn sie zusammen mit der Hauptkultur auf dem Feld gesät würde, mit gleichzeitiger Beobachtung mehrerer Selektionen. Weitere Konkurrenzeffekte der Hauptkultur, wie z. B. der Entzug von Wasser und Nährstoffen, können dabei aber nicht simuliert werden.

Aufklärungskampagnen und die Einrichtung von standortübergreifenden Demonstrationsversuchen sind in Zusammenarbeit mit Praxisbetrieben erfolgt. Die Erfahrungen der Praxisbetriebe werden als wichtiges Feedback in die Sortenentwicklung, die Gestaltung der Mischungen und die Anbauempfehlungen einfließen.

2. Bearbeitete Arbeitspakete

Arbeitspaket 1: Test verschiedener Sorghum-Gemenge und Untersaaten auf ihre agronomische Leistungsfähigkeit

DSV stellte das komplette Saatgut für dieses Arbeitspaket zur Verfügung (Sorghum + Untersaaten), und übernahm das parzellenweise Vorbereiten und Abpacken. Zudem beteiligte sich DSV mit der Durchführung und Auswertung der Versuche an den Standorten Ven Zelderheide und Asendorf.

Arbeitspaket 2: Optimierung geeigneter Sorghum-Mischungen hinsichtlich pflanzenbaulicher Aspekte und Sortenwahl

DSV beteiligte sich mit der Bereitstellung des Saatguts der Untersaat-Komponenten.

Arbeitspaket 6: Phänotypisierung der Mischungspartner und Untersaaten auf Beschattungstoleranz

Dieses Arbeitspaket stellte einen Schwerpunkt des Teilvorhabens dar.

Arbeitspaket 7: Demonstrationsvorhaben in Kooperation mit Praxisbetrieben

Dieses Arbeitspaket stellte einen Schwerpunkt des Teilvorhabens dar.

Arbeitspaket 8: Datenauswertung, Interpretation und Publikation

3) Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens

Alle getesteten Untersaat-Komponenten reagieren ausnahmslos auf mehr Schatten mit einer verzögerten Blütezeit. Betrachtet man die Blütendichte über die Zeit, so lassen sich weitere Unterschiede zwischen den Sorten feststellen. Im Allgemeinen können wir daraus schließen, dass früher blühendes Material für den Mischanbau zu bevorzugen ist. Dafür gibt es zwei Gründe: Eine frühere Blüte bedeutet in den meisten Fällen weniger vegetatives Wachstum, was die Konkurrenz mit der Nutzpflanze minimiert. Außerdem wird dadurch der Zeitraum, in dem die Blüte beobachtet wird, verlängert, da sich die Blüte bei allen Pflanzen, die als Begleitkultur verwendet werden, verzögert. Ein früherer Anbau bedeutet also eine größere Chance auf eine Blüte während der Wachstumsperiode. Die

Höhe der Begleitpflanze ist ein weiterer Faktor, der einen Teil der Biomasse reduziert, und scheint bei dieser speziellen Nutzungsart von Vorteil zu sein.

Ein interessanter visueller Marker für eine erhöhte Schattentoleranz könnte vermutlich die Anthocyanfärbung der Blätter sein. Nach dem derzeitigen Stand der Wissenschaft wurden Anthocyane in erster Linie als antioxidative Verbindungen zum Zellschutz bei starker Sonneneinstrahlung angesehen. Neuere Studien, wie z. B. von Landi et al. (2020), weisen jedoch darauf hin, dass Anthocyane eine bessere Lichtabsorption im blauen Spektrum und damit eine effizientere Photosynthese bei geringer Lichtintensität ermöglichen. Viele der in diesem Versuch ausgewählten schattentoleranten Akzessionen scheinen diese Vermutung zu bestätigen, da sie auch eine auffallend dunkle Blattfärbung aufweisen.