

86

Berichte aus dem TFZ

Silphie-Anbau in der nördlichen Frankenalb

Agrarfachliche Begleitung des Demonstrationsprojekts

Projektpartner:



Silphie-Anbau in der nördlichen Frankenalb – Agrarfachliche Begleitung des Demonstrationsprojekts



Silphie-Anbau in der nördlichen Frankenalb

Agrarfachliche Begleitung des Demonstrationsprojekts

Franz Heimler
Markus Freiling
Dr. Maendy Fritz

Projektpartner:



Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Berichte aus dem TFZ 86

Straubing, Oktober 2024

Titel: Silphie-Anbau in der nördlichen Frankenalb – Agrarfachliche Begleitung des Demonstrationsprojekts

Autoren: Franz Heimler
Markus Freiling
Dr. Maendy Fritz
Dr. Thomas Ettle (Kapitel 5)
Prof. Dr. Karl Auerswald (Kapitel 6)
Anita Oberneder (Kapitel 6)
Prof. Dr. Martin Wiesmeier (Kapitel 6)
Florian Ebertseder (Kapitel 6)

Projektleitung: Dr. Maendy Fritz

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus unter dem Förderkennzeichen N/17/06 gefördert. Die Projektlaufzeit ging vom 01.05.2017 bis zum 30.06.2024 und lief unter dem Titel Demonstrationsprojekt Silphie-Anbau im Projektgebiet Nördliche Frankenalb – Agrarfachliche Begleitung des Demonstrationsprojekts durch das Technologie- und Förderzentrum. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

© 2024
Technologie- und Förderzentrum
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing

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

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

ISSN: 1614-1008
Hrsg.: Technologie- und Förderzentrum
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ)
Schulgasse 18, 94315 Straubing
E-Mail: poststelle@tfz.bayern.de
Internet: www.tfz.bayern.de

Redaktion: Markus Freiling, Dr. Maendy Fritz, Anna Grundner
Gestaltung: Markus Freiling
Verlag: Eigenverlag
Erscheinungsort: Straubing
Erscheinungsjahr: 2024

Fotos: Auerswald, LfL-IAB (Abbildung 59, Abbildung 60, Abbildung 61, Abbildung 64, Abbildung 65, Abbildung 66)
Graf, AELF Bayreuth (Abbildung 48)
Lindner, GeoTeam (Abbildung 7)
Restliche: Heimler, TFZ

Abstract (deutsch)

Die Dauerkultur Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) ist aufgrund ihres hohen Flächenertrags und ihrer ökologischen Vorteile eine vielversprechende Kultur zur Erzeugung von Biogas. In der Projektregion in Oberfranken wurden auf 100 ha Praxisflächen etabliert, um relevante Erfahrungen für den Silphieanbau zu gewinnen und ihn in der landwirtschaftlichen Praxis bekannter zu machen. Da einige Fragen zur Etablierung und zum Silphieanbau noch offen waren, wurden zusätzlich auf einigen Praxisflächen Schauflächen angelegt: Auf diesen Flächen wurden Etablierungs- und Pflegevarianten (Bayreuth, Windischgailenreuth), Pflanzdichten (Speichersdorf), der Waldrandeinfluss (Brunn), Verfahren zur Unkrautkontrolle (Lessau) und die Wirkung eines Hackgeräts (Buttenheim) geprüft. Neben der Dokumentation von Frisch- und Trockenmasseerträgen wurden dort u. a. Feldaufgänge, Bestandesdichten, Biogas- sowie Methanausbeuten erhoben. Mittels Drohne wurde die Entwicklung der Bestände auf den Praxis- und Schauflächen jährlich dokumentiert. Aus der Begleitung der Praxisflächen bleibt festzuhalten, dass nur auf guten Standorten eine Etablierung der Silphie als Untersaat unter Mais und damit ein folglich weiter Reihenabstand von 75 cm erfolgreich praktiziert werden können. Bei engerem Reihenabstand durch Silphie-Reinsaat schließen die Bestände wesentlich früher und der Pflegeaufwand ist geringer. Eine konsequente Unkrautbekämpfung im ersten Jahr ist entscheidend für eine rasche und gute Entwicklung. Gräser sollten ebenso rechtzeitig bekämpft werden. Silphie verträgt die Trockenheit etwas besser als klassische Ackerkulturen, da sie stärker von der Winterfeuchtigkeit profitiert. Auf den Schauflächen wurde ersichtlich, dass nach fünf Jahren kaum noch Unterschiede durch die Anlagearten sichtbar waren (Bayreuth, Windischgailenreuth), Gleiches gilt für die Schaufläche in Speichersdorf. Der Waldrandeinfluss führte langfristig zu geringeren Erträgen im Vergleich zu nicht beschatteten Bereichen, obwohl die Beschattung im Anlagejahr einen positiven Einfluss auf das Auflaufen der Silphie hatte. In Zusammenarbeit mit der Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) wurden Batchuntersuchungen zu Biogas- und Methanausbeuten, Untersuchungen zur Verdaulichkeit und zum Futterwert sowie Untersuchungen zur Erosionsgefährdung von Silphie durchgeführt. Die Batchuntersuchungen zeigten, dass die durchschnittlichen Biogausausbeuten 472 bis 529 l_N/kg oTS und die Methanausbeuten 254 bis 290 l_N/kg oTS in den Jahren 2018 bis 2021 betragen. Dies entspricht Angaben aus der Literatur, wobei die Schwankungen nicht mit der Bestandesgüte, wie z. B. Verunkrautung oder Abreife, korrelierten. Bei den Methanerträgen je Hektar war erkennbar, dass diese (bis auf eine Ausnahme) auf unterschiedlichen Standorten im Laufe der Jahre zunahmen. Die Daten zur Verdaulichkeit zeigten, dass Silphie nur einen geringen Futterwert aufweist, der mit dem von Stroh vergleichbar ist. Eine sinnvolle Einbindung in Rationen für hochleistende Wiederkäuer ist dementsprechend nicht möglich. Die Auswertung zur Erosionsgefährdung ergab, dass unter Silphie der Bodenabtrag bei mindestens zehnjährigem Anbau weniger als ein Viertel dessen beträgt, was bei (mittlerem) konventionellem Ackerbau zu erwarten wäre. Der Abtrag ist damit deutlich niedriger als unter reinem Getreideanbau, erreicht aufgrund der stärkeren Gefährdung in den ersten Jahren der Etablierung aber nicht das niedrige Niveau von Grünland.

Abstract (englisch)

The permanent crop *Silphium perfoliatum* (*Silphium perfoliatum* L.) or cup plant is a promising crop to produce biogas due to its high yield per hectare and its ecological advantages. In the project region in Upper Franconia, practice fields were established on 100 ha to gain relevant experience for the cultivation of cup plant and to make it better known in agricultural practice. As some questions regarding the establishment and cultivation of cup plant were still unanswered, additional demonstration plots were set up on some practice areas. On these plots, establishment and maintenance variants (Bayreuth, Windischgailenreuth), planting densities (Speichersdorf), the influence of the forest edge (Brunn), weed control methods (Lessau) and the effect of a hoeing device (Buttenheim) were tested. In addition to the documentation of fresh and dry matter yields, field emergence, crop density, biogas and methane yields were also recorded. A drone was used to document the development of the cup plant stands on practice fields and demonstration plots on an annual basis. From the monitoring of the practical fields, it can be noted that only on good sites the establishment of cup plant sown under maize, and thus a consequently wide row spacing of 75 cm, can be practiced successfully. With a narrower row spacing by sowing cup plant pure, the crops close much earlier and the maintenance effort is lower. Consistent weed control in the first year is crucial for rapid and good development of cup plant. Grasses should also be controlled in good time. Cup plant tolerates drought somewhat better than traditional agricultural crops as it benefits more from winter moisture. It became apparent on the demonstration plots that after five years there were hardly any visible differences between the planting types (Bayreuth, Windischgailenreuth); the same applies to the demonstration plot in Speichersdorf. The influence of the forest edge led to lower yields in the long term compared to unshaded areas, although the shade had a positive influence on the emergence of cup plant in the year of sowing. In cooperation with the State Institute for Agriculture (LfL), batch studies on biogas and methane yields, studies on digestibility and feed value as well as studies on the erosion risk of cup plant were carried out. The batch studies showed that the average biogas yields were between 472 and 529 l_N/kg oTS and the methane yields between 254 and 290 l_N/kg oTS in the years 2018 to 2021. This corresponds to data from the literature, whereby the deviation did not correlate with the crop quality, such as weed infestation or ripening. In terms of methane yields per hectare, it was evident that these increased (with one exception) at different locations over the years. The data on digestibility showed that cup plant silage has a low feed value only, which is comparable to that of straw. Accordingly, it is not possible to include it in rations for high-yielding ruminants. The evaluation of the risk of erosion showed that the soil erosion under cup plant is less than a quarter of what would be expected with (medium) conventional cropping over at least 10 years of cup plant cultivation. The erosion is thus significantly lower than under pure cereal cultivation but does not reach the low level of grassland due to the greater risk of erosion in the first years of establishment.

Inhaltsverzeichnis

Abstract (deutsch)	5
Abstract (englisch)	6
Abbildungsverzeichnis	9
Tabellenverzeichnis	15
1 Einleitung	17
2 Projektziele und Beitrag des TFZ	19
3 Material und Methoden	21
3.1 Vorstellung der Praxisflächen	21
3.2 Wissenschaftliche Begleitung der Praxisflächen	21
3.3 Vorstellung der Schauflächen	22
3.3.1 Schaufläche Landwirtschaftliche Lehranstalten Bayreuth (Etablierungs- und Pflegevarianten).....	23
3.3.2 Schaufläche Windischgaillenreuth (Saattechniken und Ansaatdichten)	24
3.3.3 Schaufläche Speichersdorf (Pflanzdichten)	25
3.3.4 Schaufläche Brunn (Waldrandeinfluss)	27
3.3.5 Schaufläche Lessau (Verfahren zur Unkrautkontrolle).....	28
3.3.6 Schaufläche Buttenheim (Wirkung Hackgerät).....	29
3.4 Batchuntersuchungen zu Biogas- und Methanausbeuten	30
3.5 Wetterdaten	30
4 Ergebnisse und Diskussion	37
4.1 Erkenntnisse zu den Praxisflächen	37
4.1.1 Erkenntnisse in den einzelnen Jahren	37
4.1.2 Ausgewählte Flächen im Jahresverlauf.....	49
4.1.3 Beratung zur Unkraut-/Ungrasbekämpfung.....	56
4.1.4 Kurzzusammenfassung zu den Praxisflächen.....	59
4.2 Erkenntnisse zu den Schauflächen	59
4.2.1 Schaufläche Landwirtschaftliche Lehranstalten Bayreuth (Etablierungs- und Pflegevarianten).....	59
4.2.2 Schaufläche Windischgaillenreuth (Saattechniken und Ansaatdichten)	71
4.2.3 Schaufläche Speichersdorf (Pflanzdichten)	80
4.2.4 Schaufläche Brunn (Waldrandeinfluss)	84
4.2.5 Schaufläche Lessau (Verfahren zur Unkrautkontrolle).....	86
4.2.6 Schaufläche Buttenheim (Wirkung Hackgerät).....	89
4.2.7 Kurzzusammenfassung zu den Schauflächen	91
4.3 Batchuntersuchungen zu Biogas- und Methanausbeuten	92
4.3.1 Biogasausbeuten	92
4.3.2 Methanerträge	94

5	Begleitforschung zu Verdaulichkeit und Futterwert.....	97
6	Erosionsgefährdung von Durchwachsener Silphie.....	99
6.1	Kurzfassung	99
6.2	Einführung	99
6.3	Berechnungsgrundlagen	100
6.4	Datengrundlage	103
6.5	Ergebnisse und Diskussion	106
6.5.1	Subfaktor PLU	106
6.5.2	Subfaktor SM	108
6.5.3	Subfaktoren SR, SC und CC	109
7	Anbauhinweise für die Praxis	115
	Zusammenfassung	119
	Quellenverzeichnis	123

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Fläche in Speichersdorf am 27.06.2017	26
Abbildung 2:	Variantenplan auf der Schaufläche Buttenheim zur mechanischen Unkrautbekämpfung, Stand der Planung vom 11.05.2018 zum ersten Hackeinsatz.....	29
Abbildung 3:	Unkrauthacke im Einsatz auf der Schaufläche Buttenheim, 11.05.2018	30
Abbildung 4:	Wetterdaten am Standort Mistelbach für die Jahre 2017 bis 2019	32
Abbildung 5:	Wetterdaten am Standort Mistelbach für die Jahre 2020 bis 2022	34
Abbildung 6:	Wetterdaten am Standort Mistelbach für die Jahre 2023 und 2024	35
Abbildung 7:	Beispiele für verunkrautete Praxisflächen: links eine tolerierbare Verunkrautung mit Hundspetersilie, Mitte mit Kamille und Franzosenkraut verunkrautete Teilfläche, rechts extreme Verunkrautung mit Kornblumen	37
Abbildung 8:	Silphie-Bestände nach der Maisernte im Oktober	38
Abbildung 9:	Praxisflächen mit unterschiedlicher Bestandesentwicklung im Jahr 2018, oben links : exzellente Entwicklung (geringe Lücken und Verunkrautung); oben rechts : sehr gute Entwicklung (kleine Lücken, wenig Verunkrautung); Mitte links : gute Entwicklung mit mittleren Mängeln (Lücken und Verunkrautung); Mitte rechts : gute Entwicklung mit starken Mängeln (viele und große Lücken und starke Verunkrautung); unten links : noch gute Entwicklung, aber problematischer Bestand (viele und große Lücken und extreme Verunkrautung); unten rechts : recht gute Entwicklung, aber unakzeptabler Bestand (mangelhafter Reihenschluss, viele und große Lücken sowie extreme Verunkrautung); 03.07.2018	39
Abbildung 10:	Praxisfläche mit vertrockneter Silphie-Pflanze, 16.10.2018.....	40
Abbildung 11:	Dauerhafte Problemstelle in einer Silphie-Fläche basierend auf schwachen Pflanzen und Lücken im Bestand	46
Abbildung 12:	Silphie-Fläche mit flächigem Bestandesausfall.....	47
Abbildung 13:	Sehr guter Silphie-Bestand im Zeitverlauf, oben links: 2018, oben rechts: 2019, Mitte links: 2020, Mitte rechts: 2021, unten links: 2022, unten rechts: 2024	50
Abbildung 14:	Sehr guter Bestand mit stellenweise vorhandenen Bodenmängeln, oben links: 2019, oben rechts: 2020, Mitte links: 2021, Mitte rechts: 2022, unten links: 2023, unten rechts: 2024.....	51
Abbildung 15:	Fläche, mit Nachsaat in der Mitte (vorher Erosionsschutzstreifen), oben links: 2019, oben rechts: 2020, Mitte links: 2021, Mitte rechts: 2022, unten links: 2023, unten rechts: 2024.....	52
Abbildung 16:	Leichter Boden mit schwächerer Bestandesentwicklung, oben: 2020, Mitte links: 2021, Mitte rechts: 2022, unten links: 2023, unten rechts: 2024	53

Abbildung 17: Schlechter Start der Bestandesetablierung, der sich von Jahr zu Jahr verbessert, oben links: 2019, oben rechts: 2020, Mitte links: 2021, Mitte rechts: 2022, unten links: 2023, unten rechts: 2024..... 54

Abbildung 18: Katastrophaler Start der Bestandesetablierung, der sich durch Pflegemaßnahmen von Jahr zu Jahr verbessert, oben links: 2019, oben rechts: 2020, Mitte links: 2021, Mitte rechts: 2022, unten links: 2023, unten rechts: 2024 55

Abbildung 19: Entscheidungsschema zur Gräserbekämpfung 58

Abbildung 20: Links: Einbettung bei Einzelkornsaat, Mitte: Einbettung bei Drillsaat, rechts: Einbettung bei Pflanzung, Schaufläche LLA Bayreuth 60

Abbildung 21: Entwicklungsrückstand im Mais infolge der Verungrasung mit Hühnerhirse: links im Mai sowie rechts im August, Schaufläche LLA Bayreuth 62

Abbildung 22: Silphie unter Deckfrucht Mais – links: Drillsaat, Mitte: Einzelkornsaat, rechts: Einzelkornsaat ohne Unkrautkontrolle, Schaufläche LLA Bayreuth 63

Abbildung 23: Silphie vor Winter – links: unter Deckfrucht Mais etabliert, Mitte: in Reinsaat, rechts: Pflanzung, Schaufläche LLA Bayreuth 63

Abbildung 24: Blick über die Schaufläche an der LLA Bayreuth mit Distel- und Kamillenestern, 18.06.2018 64

Abbildung 25: Blick über die Schaufläche an der LLA Bayreuth, erkennbar ist die unterschiedliche Verteilung der Silphie-Pflanzen in Abhängigkeit von Drill- oder Einzelkornsaat, 18.10.2018 65

Abbildung 26: Silphie-Bestand vor (links) und nach (rechts) dem Einsatz der Reihenfräse an der Schaufläche LLA Bayreuth, 29.05.2019 65

Abbildung 27: Silphie-Bestand der Variante „komplett ohne Unkrautbekämpfung“ auf der Schaufläche an der LLA Bayreuth direkt vor der Ernte, 24.09.2019 66

Abbildung 28: Bestand Reinkultursaat im Einzelkornverfahren mit 25 Kö/m² vor dem Fräsen 67

Abbildung 29: Versuchsfläche vor der Beerntung im Jahr 2020, Beerntung wurde als Kernbeerntung durchgeführt und die Ernteflächen vermessen 68

Abbildung 30: Blick über die Schaufläche an der LLA Bayreuth am 07.07.2021 69

Abbildung 31: Versuchsfläche vor der Beerntung am 14.09.2021 70

Abbildung 32: Links: Einzelkorn-, rechts: Drillsägerät, Schaufläche Windischgailenreuth 72

Abbildung 33: Zur Silphie-Saat verwendete Geräte – links: Einzelkorn-, rechts: direktsaattaugliches Drillsägerät, Schaufläche Windischgailenreuth..... 72

Abbildung 34: Erreichte Einbettung des Silphie-Saatguts – links: Ablage mit Einzelkorn-, rechts: mit Drillsägerät, Schaufläche Windischgailenreuth 72

Abbildung 35: Silphie-Etablierung per Drillsaat – links: im August unter Deckfrucht Mais, rechts: nach Maisernte, Schaufläche Windischgailenreuth 74

Abbildung 36: Silphie-Etablierung per Einzelkornsaat – links: im August unter Deckfrucht Mais, rechts: nach Maisernte, Schaufläche Windischgaillenreuth	74
Abbildung 37: Silphie-Etablierung in Reinsaat per Einzelkornsaat – links: im August, rechts: im Oktober, Schaufläche Windischgaillenreuth.....	75
Abbildung 38: Silphie-Etablierung in Reinsaat per Drillsaat nach Ganzpflanzen-Vorfrucht – links: im August, rechts: im Oktober, Schaufläche Windischgaillenreuth	75
Abbildung 39: Blick über die Schaufläche Windischgaillenreuth, der Längenvorsprung der im oberen Feldstück gelegenen Reinsaatvarianten ist deutlich zu erkennen, 06.06.2018.....	76
Abbildung 40: Blick über die Schaufläche Windischgaillenreuth, 29.05.2019.....	76
Abbildung 41: Blick per Drohne über die Schaufläche Windischgaillenreuth, 31.08.2019	77
Abbildung 42: Versuchsfläche Etablierungsversuch in Windischgaillenreuth, 07.07.2020	78
Abbildung 43: Versuchsfläche Etablierungsversuch in Windischgaillenreuth, 14.08.2021	79
Abbildung 44: Wildschweine flüchten aus der Silphie, insgesamt befanden sich zur Ernte 25 Wildschweine auf der Fläche	80
Abbildung 45: Blick über einen Teil der Schaufläche Speichersdorf, von links einige Reihen mit vier Silphie-Pflanzen/m ² , dann mit zwei Silphie-Pflanzen/m ² und danach wieder mit vier Silphie-Pflanzen/m ² , 18.06.2018	81
Abbildung 46: Schaufläche Speichersdorf mit verschiedenen Pflanzdichten der Silphie, 07.07.2020	82
Abbildung 47: Schaufläche Speichersdorf mit verschiedenen Pflanzdichten der Silphie, 06.07.2021	83
Abbildung 48: Silphie-Bestand nach Ernte, Deckfrucht Mais, Schaufläche Brunn, Fotos von Graf, AELF Bayreuth	84
Abbildung 49: Waldrandeffekt auf der Schaufläche Brunn – links: 2018, rechts: 2020..	85
Abbildung 50: Schaufläche Brunn, 07.07.2021	86
Abbildung 51: Links Schauparzelle vor Hacke am 09.06.2017 sowie rechts danach am 27.06.2017, Schaufläche Lessau	87
Abbildung 52: Blick über die Schaufläche Lessau – links: im Jahr 2018, rechts: im Jahr 2019, im linken Bereich auf beiden Fotos ist die sichtbar dichtere Silphie-Reinsaat zu erkennen	88
Abbildung 53: Schaufläche Lessau, Reinsaat im Streifen am linken Feldrand – links: 2020, rechts: 2021.....	88
Abbildung 54: Blick über die Schaufläche Buttenheim, Variante 1, vor (links) und nach (rechts) dem Einsatz der Reihenfräse, 21.06.2019	89

- Abbildung 55: Blick per Drohne über die Schaufläche Buttenheim, ganz links der Streifen mit dem späten Frästermin 2019 und kräftigster Entwicklung, nach rechts der frühe Termin 2019, weiter nach rechts die Varianten und Kombinationen aus 2018 sowie die unbehandelte Variante ganz rechts; Praxisfläche um den Versuch bereits notbeerntet, um den Samenabwurf zu reduzieren, 31.08.2019 90
- Abbildung 56: Silphie-Bestand auf der Fläche Buttenheim: Silphie ist hellgrün, Kompasslattich ist graugrün; Versuchsfläche ist rot eingerahmt, 07.07.2020..... 91
- Abbildung 57: Methanerträge unterschiedlicher Standorte und Bestände – Schnabelwaid sowie Hollfeld: sehr guter Bestand; Heinersreuth: Bestandsentwicklung von schlecht zu gut; Prebitz & Heinersreuth: Entwicklung von schlecht zu gut auf flachgründigem Boden; Mistelgau: flachgründig; Heiligenstadt & Scheßlitz: flachgründig 95
- Abbildung 58: Methanerträge von verschiedenen Etablierungsvarianten am Standort Windischgailenreuth über die Versuchsjahre 2018 bis 2021– Windig. 1: Drillsaat nach GPS-Getreide; Windig. 4: Einzelkornsaat unter Mais; Windig. 5: Drillsaat unter Mais; Windig. 8 Einzelkornsaat in Reinsaat ... 96
- Abbildung 59: Wurzeldichte Bur (links) und Wurzelwirkung (rechts) am Beginn des ersten Reinbestandsjahrs (nach der Maisernte) und am Beginn des sechsten Reinbestandsjahrs (nach der Ernte des fünften Jahrs); insgesamt 24 Messungen auf drei Standorten. Um die Auflösung bei niedrigen Wurzeldichten zu erhöhen, ist die y-Achse der linken Tafel quadratwurzelkaliert. Die Kreuze stellen die Messwerte (links) bzw. die aus den Messwerten abgeleitete Wurzelwirkung (rechts) dar. Die gefüllten Kreise sind die jeweiligen Mittelwerte, die offenen Kreise sind die Mittelwerte ohne den Ausreißer der linken Tafel. Der Ausreißer der linken Tafel ist in beiden Tafeln als Stern dargestellt. Die gestrichelte Linie ist die angenommene Zunahme der Wurzeldichte (links) bzw. die daraus berechnete Wurzelwirkung (rechts) über die Standdauer. 107
- Abbildung 60: Einfluss der Konsolidierung durch Bodenruhe und Einfluss der Wurzeldichte auf den Prior Land Use Factor PLU (links) sowie kombinierte Wirkung (rechts) in Abhängigkeit vom Reinbestandsjahr bei Etablierung unter einer Mais-Deckfrucht. Bei Etablierung in Reinsaat verschiebt sich die Konsolidierungswirkung um ein Jahr nach rechts; die Wurzelwirkung bleibt gleich, wenn man annimmt, dass nach der Ernte der Deckfrucht Maiswurzeln dominieren und der Effekt des weiteren Mais-Reihenabstandes durch die zwischengesäten Silphie-Reihen kompensiert wird. 108
- Abbildung 61: Links: Langjährig mittlere tägliche klimatische Wasserbilanz (Niederschlag minus potenzielle Verdunstung) für einen Standort in Süddeutschland (mittlerer Jahresniederschlag 850 mm a⁻¹; mittlere potenzielle Verdunstung 630 mm a⁻¹. Rechts: Daraus abgeleiteter Jahresgang des Parameters SM, der den Einfluss des langjährig mittleren Jahresgangs der Bodenfeuchte abbildet..... 109
- Abbildung 62: Idealtypische Entwicklung von Silphie-Beständen nach gelungener Anlage in Reinsaat..... 110
- Abbildung 63: Idealtypische Entwicklung von Silphie-Altbeständen 110

- Abbildung 64: Entwicklung der (um die Mulchbedeckung verminderten) effektiven Pflanzenbedeckung (a), der halben Pflanzenhöhe (b) und der Mulchbedeckung (meist bodennah wachsende Pflanzen) (c) bei Reinsaat im ersten Jahr und daraus abgeleitetes Subfaktorenprodukt $CC \times SC \times SR \times SM$ (d. h. ohne PLU) (d); die schattierte Fläche in Tafel d zeigt den täglichen Anteil der Regenerosivität (Einheit: $\% d^{-1}$) 111
- Abbildung 65: Jahresverlauf des Produkts der saisonal sich ändernden Subfaktoren CC, SC, SR und SM (d. h. ohne PLU). Die schattierte Fläche zeigt den täglichen Anteil der Regenerosivität (Einheit: $\% d^{-1}$). Links: nach Etablierung durch Reinsaat im ersten, zweiten und siebten Bestandsjahr. Rechts: nach Etablierung durch Untersaat unter Mais im ersten Reinbestandsjahr. 112
- Abbildung 66: C-Faktoren von *S. perfoliatum* bei Etablierung durch Reinsaat oder als Untersaat unter Mais; die y-Achsen sind quadratwurzelskaliert, um die Auflösung bei geringen Werten zu vergrößern; links: Einzeljahres-C-Faktoren; der gefüllte Kreis ist der mittlere C-Faktor von Mais nach AUERSWALD et al. (2021) [1], der auch für das Untersaatjahr angenommen werden kann; rechts: gemittelt über die Nutzungsdauer in Abhängigkeit vom Anbauverfahren. Das Maisjahr bei Etablierung durch Untersaat ging in die Mittelung nicht ein. Zum Vergleich sind die C-Faktoren von reinem, konventionellem Maisanbau, reinem Getreideanbau und Dauergrünland als horizontale gestrichelte Linien angegeben (Mais und Getreide aus AUERSWALD et al., 2021 [1]; Grünland aus WISCHMEIER UND SMITH, 1978 [26] bzw. AUERSWALD UND SCHMIDT, 1986 [4]) 113

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Schaufläche LLA Bayreuth.....	24
Tabelle 2:	Schaufläche Windischgailenreuth.....	25
Tabelle 3:	Schaufläche Speichersdorf.....	26
Tabelle 4:	Schaufläche Brunn.....	27
Tabelle 5:	Schaufläche Lessau.....	28
Tabelle 6:	Bestandesdichte der Schaufläche LLA Bayreuth, n. a. = not available (nicht verfügbar).....	61
Tabelle 7:	Ertragsdaten der Schaufläche LLA Bayreuth, n. a. = not available (nicht verfügbar).....	62
Tabelle 8:	Trockenmasseerträge des Etablierungsversuchs in Bayreuth für die Versuchsjahre 2019, 2020 und 2021.....	70
Tabelle 9:	Bestandesdichte der Schaufläche Windischgailenreuth, n. a. = not available (nicht verfügbar).....	73
Tabelle 10:	Trockenmasseerträge in dt TM/ha des Etablierungsversuchs in Windischgailenreuth für die Versuchsjahre 2017 bis 2021, RS = Reinsaat, DF = Deckfrucht, DS = Drillsaat, ES = Einzelkornsaat, n. a. = not available (nicht verfügbar).....	80
Tabelle 11:	Ertragswerte der Schaufläche am Standort Speichersdorf in den Jahren 2019, 2020 und 2021.....	83
Tabelle 12:	Biogasausbeute und Methangehalte über die Versuchsjahre 2018 bis 2021 von verschiedenen Bestandsgütern, unterschiedlichen Standorten und Etablierungsvarianten, Windig. = Windischgailenreuth.....	93
Tabelle 13:	Verdaulichkeit der Inhaltsstoffe und Energiegehalte der Durchwachsenen Silphie zu verschiedenen Ernteterminen (FRITZ UND ETTLE 2018 [13]).....	97
Tabelle 14:	Oberbodeneigenschaften der Standorte zur Bestimmung der Wurzelbiomasse (angegebene Gehalte, bis auf den Steingehalt, beziehen sich jeweils auf den Feinboden; der Steingehalt ist auf den Gesamtboden bezogen) TRD ist die Trockenraumdichte des Gesamtbodens; S, U und T sind die Sand-, Schluff- und Tongehalte, n = 8.....	104

1 Einleitung

Die Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) ist eine Dauerkultur und stammt ursprünglich aus Nordamerika. Sie eignet sich wegen ihrer guten Biomasseproduktion zur Erzeugung von Biogas. Neben dem hohen Flächenertrag sind die ökologischen Vorteile der Durchwachsenen Silphie hervorzuheben. Der nahezu ganzjährige Bestand schützt Wildtiere und Bodenleben. Die Biodiversität wird ebenfalls durch das lange Blütenangebot von Juli bis September gefördert. Als Dauerkultur mit Standzeiten von 15 bis 20 Jahren mit einer guten Durchwurzelung des Oberbodens trägt sie zum Erosions- und Gewässerschutz bei.

Am Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz und am Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten wurde der Projektantrag zum Demonstrationsprojekt Silphie-Anbau in der Nördlichen Frankenalb eingereicht. Dieses Projekt kam auf Initiative von Staatsminister Helmut Brunner und Staatsministerin Ulrike Scharf zustande und wird jeweils hälftig von beiden Ministerien finanziert.

Projektziel im Gesamtvorhaben „Demonstrationsprojekt Silphie-Anbau im Projektgebiet Nördliche Frankenalb“ ist die Etablierung der Durchwachsenen Silphie auf rund 100 Hektar Anbaufläche in den Jahren 2017 und 2018 mit einer nachfolgenden Nutzungsdauer von mindestens fünf Jahren. Im Vorhaben sollen die langfristigen Umweltvorteile, insbesondere der Schutz des Grund- und Oberflächenwassers, der Erosionsschutz und der verringerte Oberflächenabfluss bei Starkregenereignissen, im Praxismaßstab nachgewiesen werden. Für die Projektregion soll die Anbauwürdigkeit der Silphie als Biogassubstrat und eventuell auch als Futterpflanze als Alternative zu Silomais aufgezeigt werden.

Das Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ) ist als Ressortforschungseinrichtung im Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) unter anderem für die Durchführung von Modellvorhaben, die die Weiterentwicklung und Erprobung von Technologien und Verfahren zur Bereitstellung und Nutzung Nachwachsender Energieträger und Rohstoffe im ländlichen Raum betreffen, zuständig. Daher wurde das TFZ gebeten, die agrarfachliche Begleitung des Demonstrationsprojekts federführend für das StMELF zu übernehmen.

Das Projekt hatte eine Laufzeit vom 01.05.2017 bis 31.12.2021 und wurde im Jahr 2021 um weitere 2,5 Jahre bis zum 30.06.2024 verlängert.

2 Projektziele und Beitrag des TFZ

Der Beitrag des TFZ für die agrarfachliche Begleitung vor Ort soll zum einen die Erhebung relevanter Daten von den Praxisflächen als Basis für den Wissenstransfer unterstützen und ergänzen. Dazu ist das TFZ beispielsweise schon bei der Flächenauswahl eingebunden. Zum anderen sollen in vor Ort angelegten Schauflächen verschiedene Etablierungsvarianten demonstriert werden, die für den Wissenstransfer – u. a. mit saisonalen TFZ-Schautafeln zur Erläuterung – genutzt werden.

Eingebunden in das Projekt ist das Institut für Landtechnik und Tierhaltung (ILT) der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), um bei ausgewählten Silphie-Proben die Biogas- und Methanausbeuten mittels Batchanalyse durchzuführen.

Ein weiteres wichtiges Arbeitspaket ist die Koordinierung der Begleitforschung durch zwei andere Institute der LfL: Unter Anleitung des Instituts für Agrarökologie und Biologischen Landbau (LfL-IAB) sollen in der Projektregion auf Silphie-Flächen kontinuierlich Bonituren durchgeführt werden, um die Bodenbedeckung und damit das erwartete Minderungspotenzial von Erosion zu beschreiben. Auf Basis dieser Werte soll für die Allgemeine Bodenabtragungsgleichung (ABAG) ein kulturspezifischer Wert (C-Wert) für die Silphie ermittelt werden. Damit ist es zukünftig möglich, für jeden konkreten Schlag die Veränderung des mittleren jährlichen Bodenabtrags zu berechnen, wenn der Anbau von einjährigen Kulturen auf die Dauerkultur Silphie umgestellt wird.

Das Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft (LfL-ITE) wird mittels Verdauungsversuchen an Hammeln die Verdaulichkeit der Silphie-Silage sowie den Futterwert mit entsprechender Analytik untersuchen. Diese Daten sollen eine Entscheidung darüber ermöglichen, ob die Silphie auch als Futtermittel eingesetzt oder wenigstens zugemischt werden kann, wenn die Nutzungsrichtung Biogas an Bedeutung verliert.

3 Material und Methoden

3.1 Vorstellung der Praxisflächen

Die Praxisflächen befinden sich im Regierungsbezirk Oberfranken in den Landkreisen Bamberg, Bayreuth, Forchheim und Kulmbach sowie in der kreisfreien Stadt Bayreuth. Eine Fläche liegt im Regierungsbezirk Oberpfalz im Landkreis Amberg-Weizsach.

Die Flächenauswahl erfolgte nach einem Punktesystem, in das die Kriterien Lage der Fläche im Wasserschutzgebiet, Lage im Wassereinzugsgebiet, Hanglage, Gewässerferne (als Vorsichtsmaßnahme aufgrund des angenommenen Invasivitätspotenzials der Silphie), Bewirtschaftung nach Öko-Richtlinien, Lage im Projektgebiet, Sichtbarkeit der Fläche und Verwertung des Substrats eingeflossen sind.

Im Jahr **2017** wurden nach diesem System 41 Flächen ausgewählt. Die Etablierung der Silphie erfolgte auf den meisten Flächen per Aussaat (38 Flächen) im Zeitraum Ende April/Anfang Mai durch den Dienstleister Metzler und Brodmann Saaten GmbH. Auf einer Fläche erfolgte die Aussaat in Reinsaat mit einer Einzelkornsämaschine (Reihenabstand: 75 cm, Saattiefe: 1 cm) mit 25 Körnern/m² und auf den anderen 37 Flächen wurde die Silphie unter der Deckfrucht Mais gesät. Bei der Variante Silphie unter Deckfrucht Mais wurden mit einem Reihenabstand von 37,5 cm Silphie und Mais im Wechsel gesät, daraus ergibt sich in den späteren Standjahren der Silphie ein Reihenabstand von 75 cm. Auf den übrigen drei Flächen wurde die Silphie gepflanzt.

Im Jahr **2018** wurden weitere 29 Flächen ausgewählt. Auf vier dieser Flächen wurde die Silphie in Reinsaat und auf den übrigen unter der Deckfrucht Mais etabliert. Insgesamt wurden 70 Standorte mit einer Anbaufläche von 100,3 ha (2017: 65,2 ha, 2018: 35,1 ha) im Projektgebiet für die Etablierung der Durchwachsenen Silphie ausgewählt.

3.2 Wissenschaftliche Begleitung der Praxisflächen

Über das beteiligte Ingenieurbüro GeoTeam GmbH wurden Kenngrößen aus dem Demonstrationsprojekt auf allen Praxisflächen erhoben und dem TFZ bereitgestellt. Dazu gehörten Schlagkarteidaten von möglichst allen Landwirten, Erhebungen, Zählungen und Bonituren von GeoTeam selbst, Zuordnung der Flächen zu den Stationen des Agrarmeteorologischen Messnetzes der LfL, kurzfristige Hinweise auf gerade erfolgte Starkregenereignisse und evtl. Lager/Erosion für eine zeitnahe Besichtigung vor Ort, N_{min}-Werte zum Vegetationsbeginn und -ende sowie Daten der Grundbodenuntersuchung zur Etablierung. Eindeutig beschriftete Probenbeutel und eine Anleitung zur Beprobung wurden jährlich vom TFZ an alle Landwirte versendet und die Proben am AELF Bayreuth verarbeitet.

Für diejenigen Praxisflächen, die bereits im Jahr 2017 angelegt wurden, bestand für die Landwirte ab dem Jahr 2022 keine Verpflichtung mehr, eine Schlagkartei zu führen oder den Frischmasseertrag sowie den Trockensubstanzgehalt bei Ernte zu ermitteln. Dementsprechend hat sich die verfügbare Datenmenge ab 2022 verringert. Leider musste in der

Projektlaufzeit mehrfach festgestellt werden, dass Teilflächenerträge auf den Schauflächen trotz rechtzeitiger Erinnerung und Angebot zur Mithilfe nicht erhoben wurden.

Folgende Kenngrößen zu dem Demonstrationsanbau erhebt das TFZ selbst und stellt sie dem Projektverbund bereit: Drohnensfotos zur Bestandsbeurteilung, Fotodokumentation von Starkregen- und Erosionsereignissen in Silphie bzw. auf Nachbarschlägen mittels Drohne sowie schauflächenspezifische Erhebungen und Bonituren. Die Analyse der Biogas- und Methanausbeute sowie Qualitätsuntersuchungen (Weender Analyse) an ausgewählten Proben, die von möglichst unterschiedlichen Pflanzenbeständen gewonnen werden, werden durch das TFZ organisiert und am Institut für Landtechnik und Tierhaltung (ILT) der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft durchgeführt. Dazu wurde von den Landwirten selbst nach exakter Anleitung eine Qualitätsprobe aus der gehäckselten Biomasse genommen und in bereits vom TFZ beschriftete Probenbeutel abgefüllt und eingefroren. Diese Proben wurden später durch das TFZ eingesammelt und zentral weiter an LfL-ILT gereicht. Zusätzliche Qualitätsproben werden bei entsprechendem Bedarf und Unklarheiten, beispielsweise zum Ligningehalt überreifer Bestände, genommen und wie beschrieben analysiert.

Das TFZ steht für alle beteiligten und interessierten Landwirte zur allgemeinen und speziellen Beratung und für den Wissenstransfer zur Durchwachsenen Silphie bereit und führt dazu zahlreiche Flächenbesichtigungen, mit und auch ohne GeoTeam, durch. Für Feldtage auf den Praxis- wie auch den Schauflächen, gemeinsame Feldbegehungen bei Problemen, Vorträge sowie für die Mitarbeit im Lenkungsausschuss stand und steht das TFZ selbstverständlich jederzeit zur Verfügung.

3.3 Vorstellung der Schauflächen

Einige Fragen zur Etablierung und zum Silphieanbau waren für die Anbauregion Oberfranken noch nicht geklärt. Diese Punkte sollten auf Schauflächen präsentiert und mit regelmäßigen Feldbegehungen der Praxis vor Ort erläutert werden. Detaillierte Schautafeln erklären die Schauflächen bzw. die verschiedenen Teilbereiche für Besucher, die die Flächen außerhalb der geführten Begehungen besichtigen wollen. Dabei wurde auf Landwirte zurückgegriffen, die im Projekt Silphie-Flächen anlegen wollten und die Bereitschaft zeigten, an diesen Fragestellungen mitzuwirken.

Nach einer Besichtigung aller Flächen wurden für das Jahr 2017 die im Folgenden (siehe Abschnitte 3.3.1 bis einschließlich 3.3.5) dargestellten Schauflächen nach individueller Betriebssituation (Betriebsform, technische Ausstattung, gewählte Etablierungsform der Silphie, Lage und Homogenität der Fläche etc.) und der Lage der Fläche konzipiert. Leider war es nicht möglich, die verschiedenen Varianten auf nur ein oder zwei Betriebe zusammenzufassen, da für jeden Betrieb nur einzelne Fragestellungen interessant bzw. umsetzbar waren.

Für die weitere Etablierungsphase im Jahr 2018 wurde geprüft, ob sich weitere Landwirte finden, um manche Fragestellungen nochmals aufzugreifen oder neu entdeckte Problem-

felder durch die praktische Demonstration auf Schauflächen zu bearbeiten. In diesem Jahr kam noch eine weitere Schaufläche hinzu, die in Abschnitt 3.3.6 näher beschrieben ist.

Außerdem wurde in Zusammenarbeit mit den Landwirtschaftlichen Lehranstalten Bayreuth (LLA) eine Schaufläche angelegt. Auf dieser Schaufläche wurden vor allem diejenigen Varianten dargestellt, die von größtem Interesse für die Etablierung weiterer Flächen durch die Praxis sind, da an der LLA eine hohe Besucherzahl realisiert werden kann. Der Fokus lag daher auf verschiedenen Methoden zur eigenen Durchführung der Saat, der Pflanzung sowie einer Extremvariante völlig ohne Unkrautbekämpfung.

Folgende Zielparameter wurden auf den Schauflächen getrennt für alle einzelnen Varianten durch das TFZ selbst bzw. – wie der Ertrag – durch die beteiligten Landwirte erhoben und für die Erarbeitung von Beratungsaussagen genutzt:

- Fotodokumentation mittels Drohne zur Entwicklung der Bestände,
- Zählung Feldaufgang,
- Zählung Bestandesdichte nach erstem Winter,
- Daten zu Makro-Entwicklungsstadien der Bestände (z. B. Blühbeginn),
- Daten zu Mängeln im Bestand bei Auftreten, wie Lager oder Krankheiten,
- Praxis-Frischmasseertrag, getrennt für jede Variante,
- Praxis-Trockensubstanzgehalt anhand repräsentativer Probe von mindestens einem Kilogramm eingefrorener Frischmasse, getrennt für jede Variante,
- Biogas- und Methanausbeute an ausgewählten Proben sowie Qualitätsanalytik, soweit deutliche Unterschiede zwischen den Varianten bestehen.

3.3.1 Schaufläche Landwirtschaftliche Lehranstalten Bayreuth (Etablierungs- und Pflegevarianten)

Die von den Landwirtschaftlichen Lehranstalten (LLA) Bayreuth zur Verfügung gestellte Schaufläche ist ein Glücksfall für den Bekanntheitsgrad des Silphie-Anbaus. Zum einen bietet die Fläche hohe Besucherzahlen, da direkt gegenüber eines der bayernweit neun Informations- und Demonstrationszentren Energiepflanzenbau liegt. Zum anderen ist das wirtschaftliche Interesse auf dieser Fläche geringer als bei den im Demonstrationsvorhaben beteiligten Praktikern, sodass hier auch eine Variante komplett ohne Unkrautkontrolle (sowohl chemisch als auch mechanisch) erprobt werden konnte. Eine kurze Darstellung der Schaufläche ist in Tabelle 1 zu finden, eine detaillierte Auflistung aller Varianten in Tabelle 6 (Abschnitt 4.2.1).

Tabelle 1: Schaufläche LLA Bayreuth

Ziele	Demonstration möglichst vieler Etablierungs- und Pflegevarianten
Jahre	Anlage 2017, Weiterführung bis mindestens 2021
Ort	Landwirtschaftliche Lehranstalten Bayreuth Bereitgestellte Schaufläche von ca. 3.700 m ² Größe
Varianten	acht Ansaat- und zwei Anpflanzvarianten

Als Grundbodenbearbeitung wurde Anfang Oktober 2016 der Tiefgrubber eingesetzt. Im Frühjahr wurde die Fläche zweimalig mit einem Federzahngrubber bearbeitet und damit auch bereits aufgelaufenes Unkraut bekämpft. Einen Tag vor der Saat erfolgte die Saatbettbereitung mit einer Garegge.

Am 23.05.2017 wurde die gesamte Fläche mit einem NP-Dünger gedüngt und dabei jeweils 100 kg/ha Reinnährstoff ausgebracht. Am 24.05.2017 erfolgte die Behandlung mit Stomp Aqua mit 3,5 l/ha in der Variante 3 und 4,4 l/ha in den Varianten 4 bis 9. Wegen stellenweise extremen Hühnerhirsebesatzes wurde am 12.06.2017 mit 2,0 l/ha Focus Ultra nachbehandelt.

Am 09.06.2017 erfolgte die Pflanzung der Silphie in den Varianten 1 und 2. Das mit einer Kreiselegge vorbereitete Saatbett war ca. 8 cm tief, locker-krümelig und feucht. Das Pflanzgut wurde in guter Qualität von der Firma Chrestensen, Erfurt, geliefert. Für die Pflanzung wurde von der Universität Bayreuth eine Pflanzmaschine der Firma Checci & Magli, Modell WOLF, zur Verfügung gestellt, die für die Auspflanzung von vier Pflanzen je m² bei 75 cm Reihenweite vorbereitet war. Wegen Trockenheit wurden die Varianten 1 und 2 mittels Güllefassens mit Prallteller einmal mit 30 l/m² bewässert. Gegen Unkräuter wurde in diesen Varianten mehrmals eine mechanische Hacke durchgeführt. Am 23.08.2017 erfolgte eine händische Unkrautkontrolle, wobei allerdings die flächig vorhandene und samenreife Hühnerhirse ausgespart werden musste, um wenigstens den Gänsefuß halbwegs zu entfernen.

3.3.2 Schaufläche Windischgailenreuth (Saatechniken und Ansaatdichten)

In dieser Schaufläche wurden mit unterschiedlicher Saatechnik und verschiedenen Ansaatdichten vom Landwirt selbst etablierte Silphie-Bestände gezeigt. Dabei wurden auch Varianten ohne Deckfrucht Mais mitgeführt, um den Konkurrenzeffekt des Mais auf die Silphie abzubilden. Da die Fläche des Betriebs aus Erosionsschutzgründen zu Projektbeginn noch mit Getreide bestellt war, wurde davon ebenfalls ein Streifen erhalten und erst spät, nach der Beerntung als Getreide-Ganzpflanzensilage, mit Silphie in Reinsaat bestellt. Je später die Aussaat der Durchwachsenen Silphie erfolgen kann, umso mehr Möglichkeiten einer Vornutzung durch Ganzpflanzengetreide (GPS) bestehen, was den Ertragsausfall des Anlagejahrs minimiert. Allerdings erschwert das die Saatbettbereitung und reduziert das für die Silphie verfügbare Bodenwasser. Die Schaufläche bot also ein sehr breites Variantenspektrum (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: *Schaufläche Windischgaillenreuth*

Ziele	Demonstration unterschiedlicher Saatechniken (Einzelkorn vs. Drill-saat) und Bestandesdichten sowie eines Spätsaattermins nach Getreide-GPS-Vorfrucht
Jahre	Anlage 2017, Weiterführung bis mindestens 2021
Ort	Windischgaillenreuth 4,58 ha Fläche, davon ca. 9.000 m ² Schaufläche
Varianten	neun Ansaatvarianten, davon zwei ohne Deckfrucht Mais und eine nach GPS

Im Herbst 2016 wurde auf dem Feld noch Winterweizen zum Erosionsschutz eingesät. Nachdem der Beginn des Projekts gesichert war, wurde der Winterweizen mit Ausnahme der Fläche für die Variante 1, Reinsaat Silphie nach GPS, umgebrochen.

Bei der Nitratbeprobung im März wurde ein Stickstoffgehalt von 47 kg/ha festgestellt. Nach anhaltend feucht-kühler Witterung wurden am 10.05.2017 auf der gesamten Fläche 30 m³ Biogasgärrest (94 kg N_{gesamt}/ha, 36 kg NH₄-N/ha, 136 kg K₂O/ha und 47 kg P₂O₅/ha) ausgebracht, eingegrubbert und die Fläche mit der Scheibenegge vorbereitet.

Am 12.05.2017 wurden die Varianten 2 bis 7 mit 4,4 l/ha sowie die Varianten 8 und 9 mit 3,5 l/ha Stomp Aqua gegen Unkraut behandelt. Der Mais lief rasch und gut auf, die Silphie hingegen nur zögerlich. Sie hatte wegen wiederholt nur sehr geringer Niederschläge zwischen ausgeprägten Schönwetterperioden nur wenig Wasser für die Keimung zur Verfügung. An diesen Verhältnissen änderte sich bis Anfang Juli nichts.

Die Aussaat der Variante 1 erfolgte nach Aberntung der Winterweizen-Ganzpflanzen am 01.07.2017. Dazu wurde die Fläche gegrubbert und mit einer Scheibenegge saarfertig gemacht. Die Aussaat der Silphie erfolgte mit dem Direktsaat-Drillgerät. Es wurde keine weitere Düngung verabreicht und keine Unkrautbekämpfung durchgeführt. Der Aussaat nachfolgende Niederschläge erbrachten einen raschen und guten Feldaufgang. Auch in den restlichen Varianten konnte kräftiger Neuauflauf von Silphie-Pflanzen beobachtet werden.

3.3.3 Schaufläche Speichersdorf (Pflanzdichten)

Auf der Schaufläche Speichersdorf wird die für das Projektgebiet ideale Pflanzdichte erprobt (siehe Tabelle 3), da bisher in Oberfranken eine Pflanzdichte von zwei Pflanzen je m² empfohlen wurde, auch zur Kostenersparnis.

Im Demonstrationsprojekt gab es nur zwei Teilnehmer, die Silphie über Pflanzung etablierten. Die Gemeinde Speichersdorf war auf Anfrage sofort bereit, auf ihrer Fläche zu testen, ob sich auch mit zwei gegenüber vier Silphie-Pflanzen ein leistungsfähiger Silphie-Bestand begründen lässt.

Die Fläche wurde am 16.03.2017 gepflügt. Die nachfolgende Nitratbeprobung ergab einen sehr niedrigen Stickstoffgehalt von 14 kg/ha, trotzdem wurde keine weitere Düngung aus-

gebracht. Am 26.05.2017 wurde mit einer schweren Scheibenegge der Boden für die Pflanzung vorbereitet.

Tabelle 3: Schaufläche Speichersdorf

Ziele	Darstellung der unterschiedlichen Pflanzdichten unter den Standortbedingungen Oberfrankens
Jahre	Anlage 2017, Weiterführung bis mindestens 2021
Ort	Gemeinde Speichersdorf 2,25 ha Fläche, davon ca. 6.000 m ² Schaufläche
Varianten	zwei Pflanzvarianten mit unterschiedlicher Dichte

Am 29.05.2017 wurde mit dem Pflanzen begonnen, am 31.05.2017 waren diese zeitraubenden und aufwendigen Arbeiten endlich beendet. Der Boden war etwa 10 cm locker, krümelig und leicht feucht. Das Pflanzgut wurde in guter Qualität von der Firma Chrestensen, Erfurt, geliefert. Für die Pflanzung wurde von der Universität Bayreuth eine Pflanzmaschine der Firma Checci & Magli, Modell WOLF, zur Verfügung gestellt, die für die Auspflanzung von vier Pflanzen je m² bei 75 cm Reihenweite vorbereitet war. Ablegen und Andrücken der Pflanzen verliefen, nach einigen Anpassungen, wegen des extremen Hangs gut und zuverlässig.

Der Streifen mit der geringeren Pflanzdichte wurde nach vier Fahrten in einer Breite von drei Fahrten angelegt, er erstreckt sich daher von Reihe 17 bis Reihe 28 entlang der gesamten Ackerlänge im oberen Hangbereich (siehe Abbildung 1).



Abbildung 1: Fläche in Speichersdorf am 27.06.2017

Um das Anwachsen sicherzustellen, wurden die frisch gepflanzten Flächen noch am selben Tag mit einem Tankwagen mit Regnerkanone bewässert. Am 20.06. und 26.06.2017 musste wegen ausbleibender Niederschläge erneut beregnet werden. Mit jeder Bewässerung wurden 5 l Wasser je m² ausgebracht. Eine Unkrautbekämpfung mit Stomp Aqua in zulässiger Aufwandsmenge 3,5 l/ha erfolgte am 09.06.2017, als die Fläche nach einem Starkregen mit 35 l/m² Niederschlag am 05.06.2017 wieder befahrbar war.

Am 19.07.2017 wurde wegen zunehmender Verunkrautung der gesamte Bestand gehackt. Gegen Ende Oktober war überwiegend starker Besatz mit Franzosenkraut zu verzeichnen, stellenweise auch vermehrt Kamille, anderes Unkraut war bedeutungslos.

3.3.4 Schaufläche Brunn (Waldrandeinfluss)

Auf der Schaufläche Brunn werden die Auswirkungen von Beschattung durch Lage am Waldrand auf die Bestandsentwicklung und Ertragsbildung abgebildet (Tabelle 4).

Tabelle 4: Schaufläche Brunn

Ziele	Auswirkung von Beschattung auf Bestand und Ertrag
Jahre	Anlage 2017, Weiterführung bis mindestens 2021
Ort	Brunn 0,9 ha Fläche, davon ca. 5.000 m ² Schaufläche
Varianten	zwei Varianten

Die Fläche in Brunn wurde von einem Landwirt für Erhebungen zur Verfügung gestellt. Am 17.12.2016 wurde die Fläche bis ca. 20 cm Bodentiefe gepflügt. Bei der Nitratbeprobung im März wurden 66 kg/ha Stickstoff festgestellt. Am 03.04.2017 wurden je Hektar 1 dt Stabilo N (36 % Stickstoff und 9 % Schwefel) und 18 m³ Biogasgärrest ausgebracht und mit der Kreiselegge eingearbeitet.

Die Aussaat erfolgte am 30.04.2017 durch den Dienstleister Metzler & Brodmann, Energiepark Hahnennest, in einem einzigen Saatgang. Verwendet wurde ein Einzelkornsäegerät von Monosem mit Reihenabstand 37,5 cm ohne Reihendüngung. Die Säeelemente waren hierfür abwechselnd für die Saat von Mais und Silphie eingestellt. Bei Mais wurden sechs Körner je m² ca. 4 cm tief abgelegt, bei Silphie 24 Körner je m² mit einer Ablagetiefe von nur 0,5 bis 1 cm. Am 06.05.2017 wurde die bei Deckfrucht Mais zulässige Aufwandsmenge von 4,4 l/ha Stomp Aqua gegen Unkräuter appliziert und am 11.05.2017 Schneckenkorn gestreut.

3.3.5 Schaufläche Lessau (Verfahren zur Unkrautkontrolle)

In der Schaufläche bei Lessau sollen die derzeit möglichen Verfahren der Unkrautkontrolle in Silphie verglichen werden (Tabelle 5). Eine Variante ganz ohne Unkrautkontrolle konnte zusätzlich bei den LLA Bayreuth eingerichtet werden.

Tabelle 5: Schaufläche Lessau

Ziele	Vergleich von Verfahren zur Unkrautkontrolle
Jahre	Anlage 2017, Weiterführung bis mindestens 2021
Ort	Lessau 1,40 ha Fläche, davon ca. 4.500 m ² Schaufläche
Varianten	zwei Varianten

Der Landwirt der Fläche in Lessau erklärte sich als einziger Landwirt im Frühjahr 2017 bereit, auf einer kleinen Teilfläche die Unkrautbekämpfung ausschließlich mechanisch durchzuführen.

Der Landwirt pflügte die Fläche am 24.11.2016. Die Nitratbeprobung im März ergab einen Stickstoffgehalt von 62 kg/ha. Am 23.04.2017 wurden 120 kg N/ha in Form von Kalkamonsalpeter ausgebracht und mit einer Saategge durch zweimalige Überfahrt eingearbeitet und die Fläche zur Saat vorbereitet.

Die Aussaat erfolgte am 01.05.2017 durch den Dienstleister Metzler & Brodmann, Energiepark Hahnennest. Maschine und Einstellung waren identisch mit der Schaufläche Brunn (Abschnitt 3.3.4). Bei der Fläche in Lessau wurde wegen der Hackvariante auf der vollen Feldlänge von 230 Metern ein zwölf Meter breiter Streifen mit Silphie in Reinsaat angelegt. Dies war notwendig, da der bald in die Höhe wachsende Mais jede spätere Unkrautbekämpfung unmöglich machen würde. Hierzu wurden die mit Mais befüllten Säelemente entleert, sodass ausschließlich Silphie im Reihenabstand von 75 cm und einer Saatedichte von 24 Körnern je m² gesät wurde.

Am 06.05.2017 wurde die Fläche mit Stomp Aqua gegen Unkräuter behandelt: 4,4 l/ha auf der Fläche mit Deckfrucht Mais, 3,5 l/ha auf der Fläche mit Silphie-Reinsaat. Gegen Wintergersten-Durchwuchs wurden auf der gesamten Fläche am 02.06.2017 noch 1,5 l/ha Focus Ultra eingesetzt. Bei beiden Maßnahmen blieb im Streifen der Silphie-Reinsaat eine Fläche von 6 × 15 Metern unbehandelt, auf der nur gehackt wurde. Am 15.05.2017 wurden flächig 2,8 kg/ha Schneckenkorn gestreut.

3.3.6 Schaufläche Buttenheim (Wirkung Hackgerät)

Grundsätzlich besteht in Silphie neben einer chemischen Unkrautbekämpfung auch die Möglichkeit einer mechanischen Unkrautkontrolle. Manchmal ist dies sogar die einzige verfügbare Möglichkeit der Unkrautkontrolle, denkt man an die Problematik im Frühjahr des zweiten Standjahrs oder an Problemunkräuter wie Distel und Ackerwinde.

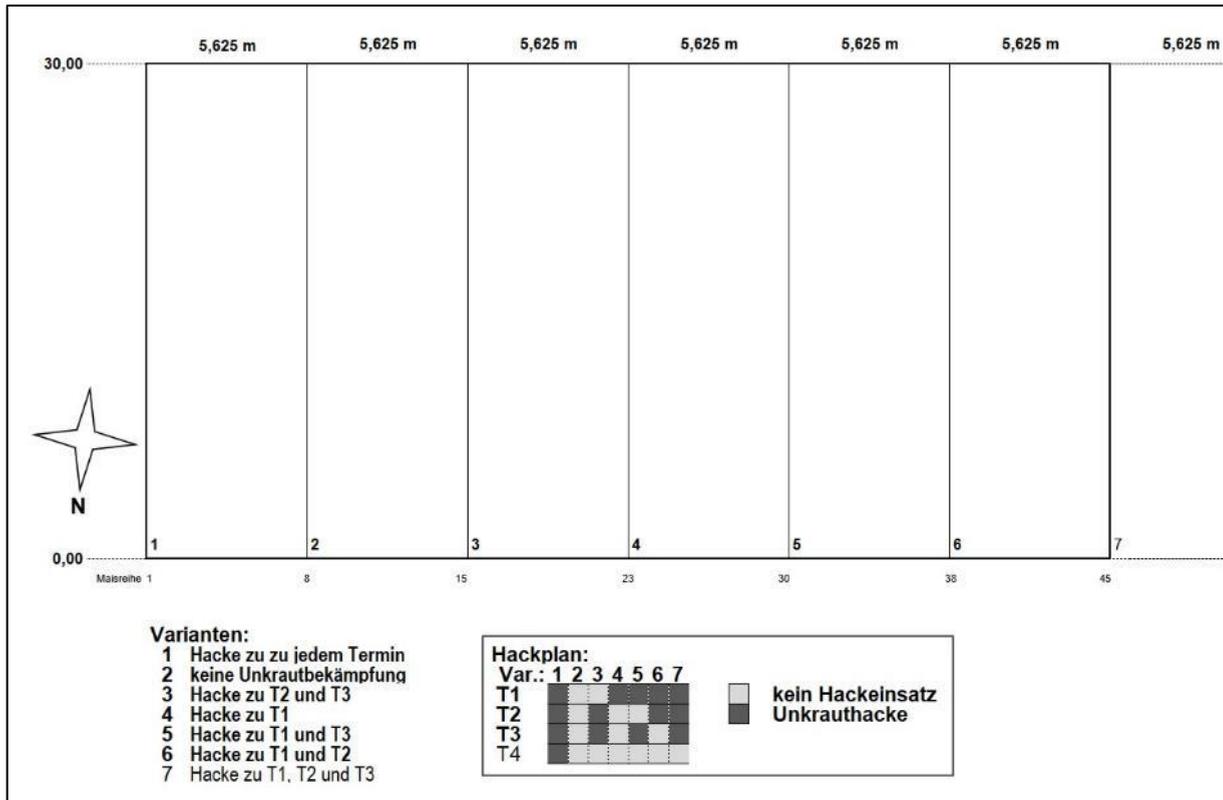


Abbildung 2: Variantenplan auf der Schaufläche Buttenheim zur mechanischen Unkrautbekämpfung, Stand der Planung vom 11.05.2018 zum ersten Hackeinsatz

Die Varianten auf der Schaufläche Buttenheim wurden für drei Hackdurchgänge entworfen, sodass für jede Einzelmaßnahme wie auch für jede mögliche Kombination daraus eine Aussage über deren Erfolg getroffen werden konnte (Abbildung 2). Die Silphie wurde durch Metzler und Brodmann im Jahr 2018 im Untersaatverfahren mit Körnermais angesät (alternierende Reihen mit 37,5 cm Abstand). Für die Hacke wurde ein Scharhackgerät mit Winkelscharen verwendet (Abbildung 3).



Abbildung 3: Unkrauthacke im Einsatz auf der Schaufläche Buttenheim, 11.05.2018

3.4 Batchuntersuchungen zu Biogas- und Methanausbeuten

Für die Batchuntersuchungen wurden durch das TFZ möglichst unterschiedliche Silphie-Bestände von Praxisflächen wie auch Schauflächen ausgewählt. Das Probenmaterial wurde im frischen Zustand gehäckselt, bei maximal 60 °C getrocknet und danach an das Institut für Landtechnik und Tierhaltung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft übergeben. Dort folgte die weitere Probenaufbereitung durch Feinvermahlung auf 10 mm und Vergärung in Kleinfementern (*Batches*). Die Bestimmung des Methanausbildungspotenzials des Ernteguts wurde in Anlehnung an die Methoden nach VDI 4630 [23] und VDLUFA [22] mit Dreifachbestimmung und kontinuierlicher Gasmessung durchgeführt.

3.5 Wetterdaten

Im Folgenden werden die Wetterdaten des Projektzeitraums von 2017 bis 2024 (siehe Abbildung 4 bis Abbildung 6) für den Standort Mistelbach aufgezeigt. Der Standort Mistelbach wurde für die Darstellung der Wetterdaten ausgewählt, da sich dieser zentral im Projektgebiet befindet.

Im Etablierungsjahr **2017** war die Temperatur, bis auf kleine Abweichungen im März und April, vergleichbar mit dem langjährigen Mittel (Abbildung 4, oben). Während die Niederschläge im April 2017 in etwa auf Höhe des langjährigen Mittels lagen, waren sie im Mai deutlich geringer. In den Folgemonaten Juni bis August fielen die Niederschlagssummen deutlich höher aus als das langjährige Mittel, wie in Abbildung 4 (oben) zu erkennen ist.

Im Jahr **2018**, in dem auch einige Flächen etabliert wurden, lag die mittlere Temperatur in den Monaten Februar und März unter dem langjährigen Durchschnitt, während sie in den Monaten April und Mai darüber lag (Abbildung 4, Mitte). Insgesamt zeichnete sich das Jahr als sehr trocken ab. Insbesondere in den Monaten Mai bis November, aber auch bereits im Februar, lagen die Niederschlagssummen deutlich unterhalb des langjährigen Mittels (Abbildung 4, Mitte).

Die mittlere Temperatur im Jahr **2019** zeigte sich im Mai etwas kühler und im Juni etwas wärmer im Vergleich zum langjährigen Mittel (Abbildung 4, unten). In den anderen Monaten war sie sehr ähnlich wie das langjährige Mittel. Die Niederschlagssummen fielen in den Monaten Februar, April, Juni und Juli deutlich geringer als das langjährige Mittel aus (Abbildung 4, unten). In den Monaten September bis Dezember fiel die Niederschlagssumme im Jahr 2019 leicht geringer aus als das langjährige Mittel. Die Monate März, Mai und August zeigten höhere Niederschlagssummen im Vergleich zum langjährigen Mittel.

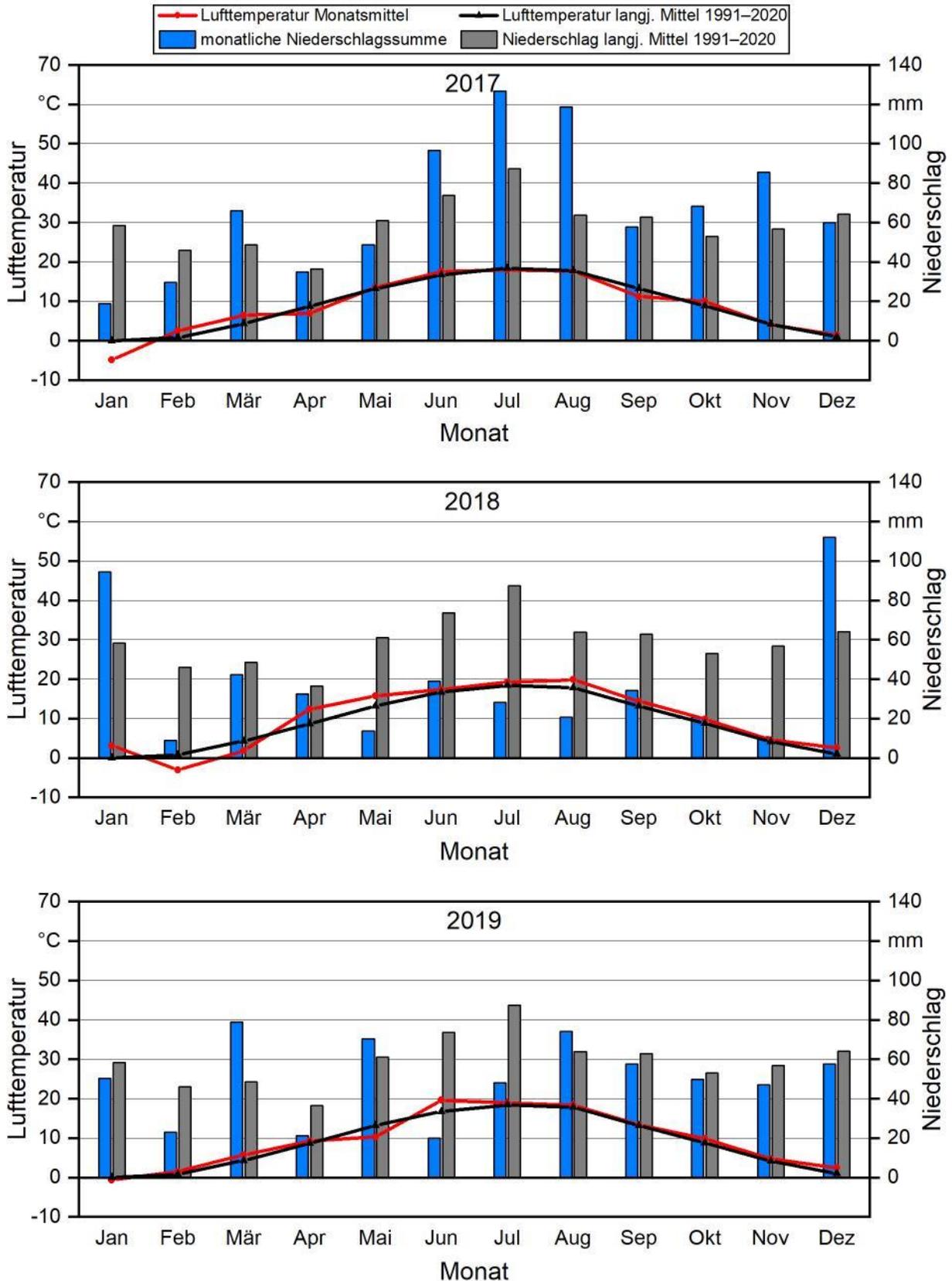


Abbildung 4: Wetterdaten am Standort Mistelbach für die Jahre 2017 bis 2019

In Abbildung 5 sind die Wetterdaten für die Jahre 2020 bis 2022 dargestellt. Die Temperatur im Jahr **2020** war, bis auf die Monate Februar und Mai, sehr ähnlich dem langjährigen Mittel (Abbildung 5, oben). Im Jahr 2020 lagen die Niederschlagssummen in den Monaten März bis Mai und auch im Juli zum Teil sehr deutlich unter dem langjährigen Mittel (Abbildung 5, oben). Hervorzuheben ist allerdings auch der Monat Februar, in dem etwa das Dreifache an Niederschlag im Vergleich zum langjährigen Mittel fiel. Die Monate Juni und August zeigten sich ebenfalls mit höheren Niederschlagssummen, während in den übrigen Monaten bis zum Jahresende die Niederschlagssumme unterhalb des langjährigen Mittels lag (Abbildung 5, oben).

Das Jahr **2021** zeigte in den Monaten April, Mai und August eine mittlere Temperatur, die unterhalb des langjährigen Mittels lag, während der Juni etwas zu warm war (Abbildung 5, Mitte). Von Januar bis August, mit Ausnahme des Monats April, fielen die Niederschlagssummen im Jahr 2021 höher oder zumindest ähnlich hoch wie das langjährige Mittel aus (Abbildung 5, Mitte). In den Monaten September bis November fiel der Niederschlag im Vergleich zum langjährigen Mittel wieder geringer aus.

Im Jahr **2022** lag die mittlere Temperatur in den Monaten Januar, Februar, Juni und Oktober über und in den Monaten April und September unter dem langjährigen Mittel (Abbildung 5, unten). Die Niederschlagssummen lagen von Mai bis August und auch im März deutlich unterhalb des langjährigen Mittels (Abbildung 5, unten). Im April und September war die Niederschlagssumme hingegen nahezu doppelt so hoch wie im langjährigen Mittel.

Abbildung 6 stellt die Wetterdaten der beiden Jahre 2023 und 2024 dar. Für das Jahr 2024 werden die Daten bis zum Monat Juni aufgezeigt. Das Jahr **2023** zeigte sich in den Monaten Januar, September und Oktober etwas zu warm und im Monat April etwas zu kühl im Vergleich zum langjährigen Mittel (Abbildung 6, oben). Die Niederschlagssummen lagen in den Monaten März und August doppelt so hoch im Vergleich zum langjährigen Mittel, auch im November und Dezember fielen deutlich mehr Niederschläge. Die Monate Mai, Juni und Juli und insbesondere der September zeigten hingegen ein deutliches Defizit bei der Betrachtung der Niederschlagssummen (Abbildung 6, oben).

Im Jahr **2024** lag die mittlere Temperatur in den Monaten Februar und März über dem langjährigen Mittel, in den übrigen Monaten gab es nahezu keine Unterschiede (Abbildung 6, unten). Für dieses Jahr lässt sich außerdem erkennen, dass mit Ausnahme der Monate März und Juni die Niederschlagssummen deutlich höher als das langjährige Mittel ausfielen (Abbildung 6, unten).

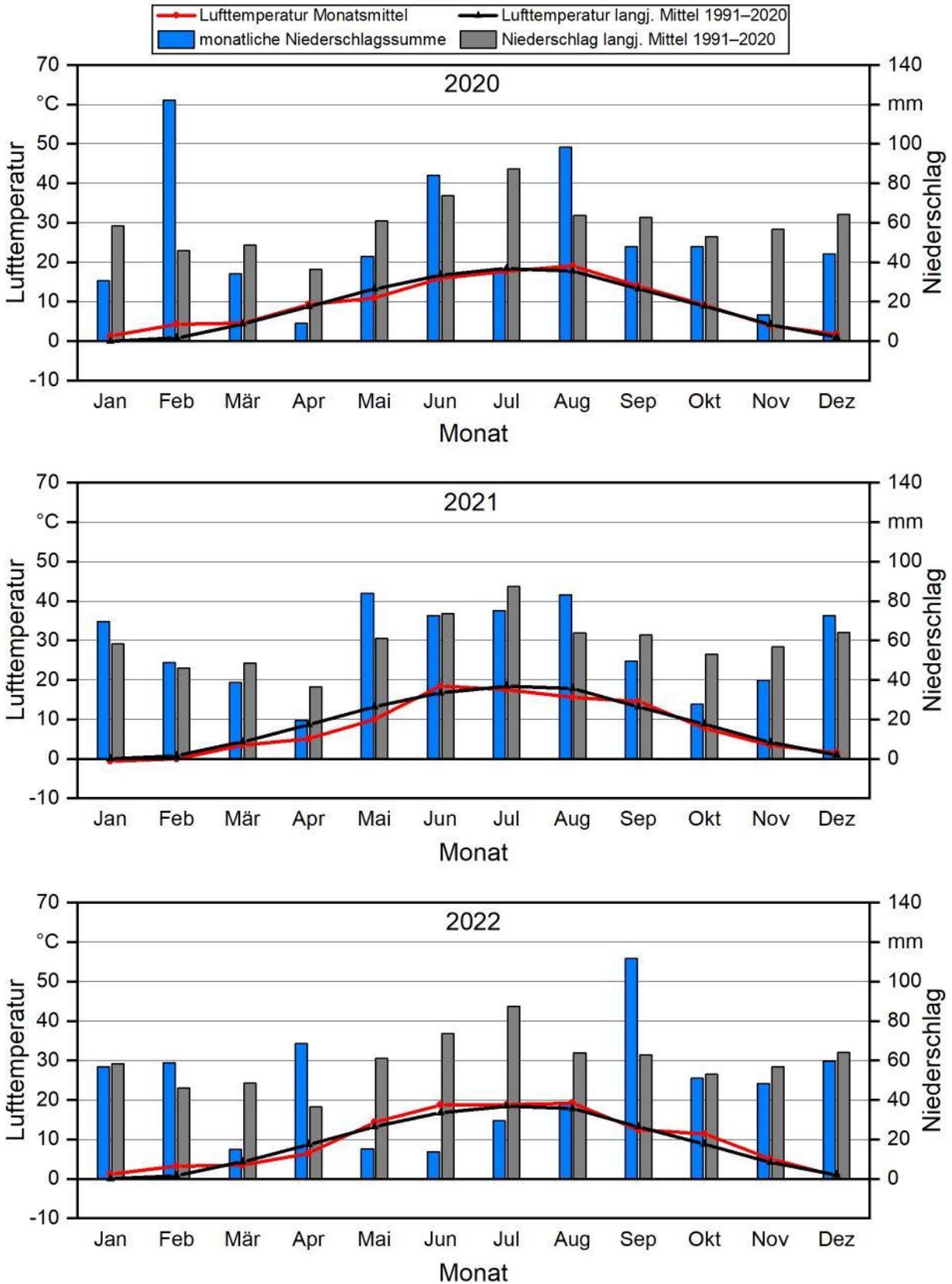


Abbildung 5: Wetterdaten am Standort Mistelbach für die Jahre 2020 bis 2022

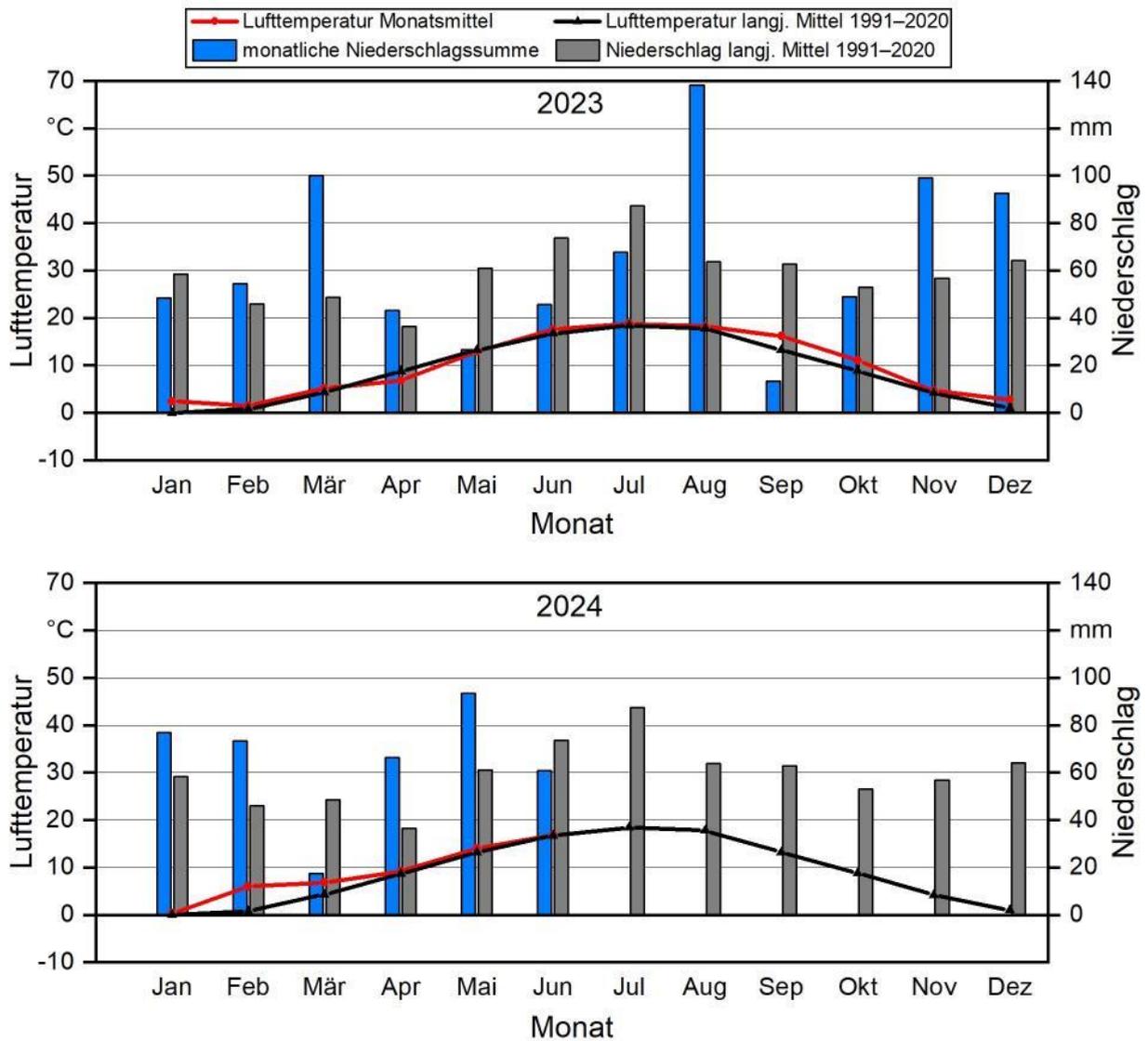


Abbildung 6: Wetterdaten am Standort Mistelbach für die Jahre 2023 und 2024

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Erkenntnisse zu den Praxisflächen

4.1.1 Erkenntnisse in den einzelnen Jahren

Im Jahr **2017** wurden 41 Flächen (37 Flächen unter Deckfrucht Mais, einmal in Reinsaat und drei Pflanzungen) etabliert. Der Silphie- und Mais-Aussaat im Zeitraum 29.04. bis 01.05.2017 auf den Praxisflächen folgte eine regnerische und kühle Periode (Abbildung 4, oben), die den Feldaufgang bei Silphie begünstigte und auch die Wirkung des Bodenherbizids sicherte, den Mais aber in Aufgang und Entwicklung je nach Ort unterschiedlich stark bremste.

Ende Juni zeigten sich dann stellenweise erste Probleme mit Unkräutern, zu deren Klärung das TFZ in 17 Fällen hinzugezogen wurde (Beispiele siehe Abbildung 7). Meist wurde die Verunkrautung als nicht weiter problematisch erachtet, in vier Fällen wurde eine vorgezogene Teilbeerntung und in zwei Fällen eine vorgezogene gesamte Beerntung der Fläche durchgeführt.



Abbildung 7: Beispiele für verunkrautete Praxisflächen: links eine tolerierbare Verunkrautung mit Hundspetersilie, Mitte mit Kamille und Franzosenkraut verunkrautete Teilfläche, rechts extreme Verunkrautung mit Kornblumen

In den überwiegenden Fällen stellten sich kräftige Silphie-Bestände bei überraschend hohen Maiserträgen ein. In fünf Fällen konnte der Erfolg der Maßnahme im Oktober besichtigt werden (einige Beispiele in Abbildung 8).



Abbildung 8: *Silphie-Bestände nach der Maisernte im Oktober*

Im Jahr **2018** wurden ebenfalls Flächenbesichtigungen für die Beurteilung der Bestände durchgeführt. Bei einer ersten Besichtigung der im Jahr 2017 angelegten Praxisflächen am 18.06.2018 zeigte sich ein sehr ambivalentes Bild. Am 03.07. zum Blühbeginn wurden dann nahezu alle restlichen Flächen beurteilt und mit der Drohne befliegen. Von 38 der 41 im Jahr 2017 angelegten Flächen lagen damit Daten und Bilder vor, die den Etablierungszustand belegen.

Von den 38 beurteilten Flächen hatte die Durchwachsene Silphie auf vier einen exzellenten (siehe Abbildung 9, oben links), auf 18 einen sehr guten (Abbildung 9, oben rechts) und auf 16 einen guten Entwicklungsstand. Auf 20 Flächen waren die Reihen vollständig geschlossen, auf 16 ausreichend (Abbildung 9, Mitte links) und nur auf zwei war der Reihenschluss mangelhaft. Auf jeweils 18 Flächen waren nur kleine oder mittlere Lücken zu beklagen, auf zwei Flächen viele und große Lücken (Abbildung 9, Mitte rechts).

Bei der Verunkrautung waren erfreulicherweise 14 Flächen absolut unproblematisch, elf wiesen mittlere, aber tolerierbare Verunkrautung auf sowie neun starke Verunkrautung, gegen die gezielte Maßnahmen erforderlich waren. Leider gab es auch vier Praxisflächen mit absolut inakzeptabler Verunkrautung, die erhöhte Anstrengungen erforderten, um die Flächen nicht zu verlieren (Abbildung 9, unten links und unten rechts). Der Etablierungserfolg der im Jahr 2017 eingesäten Flächen war insgesamt als hervorragend einzustufen.



Abbildung 9: *Praxisflächen mit unterschiedlicher Bestandesentwicklung im Jahr 2018, **oben links:** exzellente Entwicklung (geringe Lücken und Verunkrautung); **oben rechts:** sehr gute Entwicklung (kleine Lücken, wenig Verunkrautung); **Mitte links:** gute Entwicklung mit mittleren Mängeln (Lücken und Verunkrautung); **Mitte rechts:** gute Entwicklung mit starken Mängeln (viele und große Lücken und starke Verunkrautung); **unten links:** noch gute Entwicklung, aber problematischer Bestand (viele und große Lücken und extreme Verunkrautung); **unten rechts:** recht gute Entwicklung, aber unakzeptabler Bestand (mangelhafter Reihenschluss, viele und große Lücken sowie extreme Verunkrautung); 03.07.2018*

Mitte Oktober 2018 nach der Maisernte erfolgte eine Besichtigung von im Jahr 2018 eingesäten, vorwiegend problematischen Flächen. Aufgrund der ausgeprägten und anhaltenden Trockenheit waren der Feldaufgang, die Herbizidwirkung und Pflanzenentwicklung sowohl unter Mais als auch nach Aberntung des Mais extrem schlecht. Die Silphie hatte

nach Aberntung des Mais gerade einmal den Entwicklungsstand wie auf den Vorjahresflächen Mitte Juli 2017 unter Mais. Sie entwickelte sich auch danach durch die Trockenheit nicht mehr wesentlich weiter, sodass die Silphie in diesem Jahr sehr schwach in den Winter ging. In Extremfällen vertrockneten die Silphie-Pflanzen oberirdisch (siehe Abbildung 10). Es war ungewiss, ob sie im Jahr 2019 neu austreiben würden.



Abbildung 10: Praxisfläche mit vertrockneter Silphie-Pflanze, 16.10.2018

Mit Metzler und Brodmann GmbH wurde vereinbart, einzelne Flächen umzubrechen und erneut einzusäen, auf einem Teil der Flächen einen Teilumbruch oder eine Nachsaat durchzuführen und weiterhin den Landwirten Silphie-Saatgut zur Ausbesserung größerer Lücken zur Verfügung zu stellen. Auf nur ca. einem Drittel der 2018 etablierten Flächen war der Zustand zufriedenstellend und erforderte keine Nacharbeiten.

Hinsichtlich der Düngung wurde abgesprochen, dass es wohl kaum Sinn ergebe, das Wachstum und die Entwicklung der Silphie durch erhöhte Düngergaben zu forcieren. Eine Düngung auf normale Ertragserwartung reicht sicherlich gut aus, reduziert das Risiko der Nährstoffauswaschung und verhindert, dass der Silphie-Anbau in ein schlechtes Licht rückt. Dies war umso mehr zu beachten, als man bei den nur schwach etablierten Beständen kaum von normaler Ertragshöhe im ersten Erntejahr 2019 ausgehen konnte.

Im Jahr **2019** wurden die Praxisflächen zu diversen Besichtigungsterminen während der Saison besucht und, wann immer möglich, ihr Zustand mit umfangreichen Drohnen- oder Fotoaufnahmen dokumentiert.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass auch das Jahr 2019 problematisch war, sodass die nach dem trockenen Etablierungsjahr 2018 nur schwach entwickelten Bestände nicht kräftig genug loswachsen konnten, um die Lücken zu schließen und vor allem um das Beikraut zu überwachsen. Einige der 2018 etablierten Flächen wurden im Jahr 2019 nachgesät, für vereinzelte (Teil-)Flächen wurde eine erneute Nachsaat für 2020 geplant.

Auch einzelne Bestände, die bereits 2017 angesät oder angepflanzt worden waren, konnten in den trockenen Jahren keinen ausreichenden Bestandsschluss erreichen, sodass Verunkrautung und Verungrasung stetig zunahmen. Diese Probleme waren aber mit entsprechenden Maßnahmen zur mechanischen Unkrautkontrolle sowie Ausnahmegenehmigungen für den Einsatz von Graminiziden (hierfür musste der Status der Fläche als ökologische Vorrangfläche aufgegeben werden) in der nächsten Saison zu lösen.

Am 03.07.2019 zu Blühbeginn wurden insgesamt 38 Praxisflächen besichtigt, beurteilt und mit der Drohne befliegen.

Auf den 2017 etablierten Flächen war die Bestandsentwicklung sehr unterschiedlich. Auf einigen Flächen hatte die Durchwachsene Silphie einen exzellenten Entwicklungsstand mit vollständig geschlossenen Reihen. Auch auf diesen Flächen war der Trockenstress durch die wiederum sehr trocken-heiße Jahreswitterung 2019 sichtbar. Auf anderen Flächen war der Reihenschluss nur ausreichend, mit meist geschwächten Silphie-Pflanzen und unterschiedlich großen Lücken. Auch bezüglich der Verunkrautung war das Bild sehr gemischt, von perfekt sauberen Silphie-Beständen bis hin zu Praxisflächen mit inakzeptabler Verunkrautung kam alles vor. Dabei war insgesamt ein sehr guter Erfolg des Hackgeräteeinsatzes zu verzeichnen. Es kam allerdings auch vor, dass im Vorjahr noch scheinbar saubere Flächen einem plötzlichen Unkrautwachstum ausgesetzt waren oder aufgrund der Flachgründigkeit des Standorts frühzeitig beerntet werden mussten, da der Bestand zusammenzubrechen drohte.

Der Etablierungserfolg der im Jahr 2017 eingesäten Flächen war insgesamt als gut bis hervorragend einzustufen. Die beiden bezüglich Hitze und Trockenheit extremen Jahre 2018 und 2019 (siehe Abbildung 4) hintereinander hatten bestehende leichte Probleme verstärkt, die sich in normalen Jahren mit zügiger Entwicklung der Silphie schnell gelöst hätten.

Die im Jahr 2018 angesäten Silphie-Bestände mussten sich unter hohem Trockenstress und in Konkurrenz durch die Deckfrucht Mais etablieren und starteten entsprechend geschwächt in die Saison 2019. Diese Bestände konnten nicht ausreichend schnell bzw. gar nicht den Reihenschluss erreichen, sodass die Unkrautflora beständig Licht zur üppigen Entwicklung hatte. Ein Etablierungserfolg wie für die 2017 abgelegten Flächen konnte auf keiner der Flächen von 2018 erzielt werden. Der kräftigste Bestand aus dem Etablierungsjahr 2018 war deutlich schwächer als die hervorragend gelungenen Bestände aus 2017.

Auf dem überwiegenden Teil der 2018 etablierten Praxisflächen waren Probleme mit Verunkrautung durch das gehemmte Silphie-Wachstum und ihrer fehlenden Konkurrenzkraft zu beobachten. Auf einigen Flächen hatte diese Verunkrautung ein höchst problemati-

schies Maß erreicht, das ohne gezielte und passende Gegenmaßnahmen voraussichtlich zum Verlust der Flächen zu führen drohte.

Bei den im Jahr 2018 angelegten Flächen war im Herbst bereits eine eklatante Wuchsdepression durch die langanhaltende Trockenheit erkennbar. Selbst nach Ernte der Deckfrucht war für die vorhandenen Silphie-Pflanzen keine Erholung zu verzeichnen. Der sonnige und trockene Herbst ließ die Pflanzen weiter verdorren. Eine annähernd normale Entwicklung im Folgejahr war damit nicht mehr zu erwarten.

Im Frühjahr 2019 war erkennbar, dass diese Depression lokal und in Teilbereichen der Felder tatsächlich bis zum Totalausfall des Silphie-Bestands führte. An den jungen Pflanzen zeigten sich meist nur ein bis zwei Triebe, nur selten mehr bis maximal fünf. Auch mit bzw. nach dem Schossen wurden keine weiteren Triebe angelegt als die im Frühjahr gezählten, selbst die Düngung und der Einsatz von Hackgeräten halfen nicht, die Wuchsbedingungen der Silphie zu verbessern. Der Stickstoffdünger nutzte dem Unkraut wesentlich besser als der Silphie, die wegen der schlechten Entwicklung im Anlagejahr gar nicht in der Lage war, die Nährstoffe umzusetzen. Es fehlte dadurch gravierend an der üblichen, kräftigen Unkrautunterdrückungsleistung der Silphie. Die mit dem Untersaatverfahren entstehende Reihenweite von 75 cm verschärfte diese Situation, da diese Reihen nur von kräftigen Beständen schnell geschlossen werden können.

Viele Flächen mussten im Jahr 2019 nachgesät werden oder wurden 2020 zum Teil erneut nachgesät bzw. neu angelegt. Der überwiegende Teil der verbleibenden Flächen wurde notbeerntet, um damit die Verunkrautung einzudämmen und vor allem das Unkrautsamenzpotential nicht weiter zu erhöhen.

Im Jahr **2020** wurden erstmals alle Praxisflächen mit Drohne befliegen, um den Stand aller Flächen beurteilen zu können. Die Befliegung erfolgte am 07.07. und 08.07.2020.

Nach der Notbeerntung extrem verunkrauteter Flächen im Jahr 2019 und dem mittlerweile im Projekt üblichen Fräsen verunkrauteter Flächen zeigten sich 2020 nun die Erfolge. Das Jahr begann zwar wieder sehr früh, warm und trocken und brachte einen Rekord-April, es gab aber dadurch einen kräftigen Wiederaustrieb, der durch erste Niederschläge im Mai und einen feuchten Juni in eine kräftige Jugendentwicklung mündete (siehe Abbildung 5). Die Probleme hielten sich in Grenzen und die wiederholten Niederschläge, über das ganze Jahr verteilt, brachten nahezu allorts üppige Bestände mit guten Erträgen.

Die Befliegungen am 07.07. und 08.07.2020 zeigten aufgrund des verhältnismäßig kühlen Witterungsverlaufs zwar nicht den Entwicklungsfortschritt der vergangenen Jahre, die Bestände waren aber kräftig und ließen bei so manchem Landwirt die Sorgen der Vorjahre vergessen. Der sonst für Silphie typische Wiederaufwuchs nach Ernte blieb bei ab Mitte September beernteten Flächen wegen der rasch einsetzenden Abkühlung vollständig aus.

Von den 70 eingesäten Flächen erforderten nur noch acht Flächen umfangreichere Maßnahmen. Es gab nur noch eine einzige echte Problemfläche, deren Umbruch in Betracht gezogen werden sollte. Insgesamt stammten alle diese Problemflächen aus dem Anlagejahr 2018.

Die Bestände ließen sich im Jahr 2020 in die Kategorien Spitzenbestände, gute Bestände, zufriedenstellende Bestände, mangelhafte Bestände und Problembestände einteilen. Etwa 21 % der Flächen konnten als Spitzenbestände eingeordnet werden. Sie hatten im nunmehr vierten Jahr nur noch sehr geringe Lücken und gleichmäßig gut und kräftig entwickelte Pflanzen. Eine Nachbehandlung gegen Unkraut war nicht mehr erforderlich. Gute Bestände machten etwa 30 % der Flächen aus und hatten mittlerweile weitgehend gleich weit entwickelte Pflanzen und nur noch wenige Lücken. Eine Unkrautbekämpfung war schlimmstenfalls nur auf Teilflächen notwendig. Zufriedenstellende Bestände waren auf etwa 36 % der Flächen ersichtlich und zeigten im Jahr 2020 nur noch wenige Lücken. Der Bestand war weitestgehend geschlossen und die Pflanzen ausreichend gut entwickelt. Eine Unkrautbekämpfung war meist nur noch in Teilflächen notwendig. Die Nachsaat/Nachpflanzung von Silphie-Pflanzen war in Einzelfällen in Betracht zu ziehen. Mangelhafte Bestände hatten einen Anteil von etwa 11 % der Flächen (ausnahmslos aus dem Anlagejahr 2018). Diese Bestände hatten immer noch schwach entwickelte Pflanzen, die die Reihenweite von 75 cm nicht schließen konnten. Der kräftige Aufwuchs von Unkraut über das gesamte Jahr war die Folge, teilweise etablierten sich Problemunkräuter wie Disteln. Eine intensive Unkrautbekämpfung war angeraten. Mehrmaliges Hacken oder der Einsatz einer Reihenfräse waren notwendig, um die Bestände zu retten. Nur ein einziger Bestand (1,4 % der Flächen) fiel in die Kategorie Problembestand. Dieser Bestand zeigte nach Notbeerntung und wiederholten Unkrautbekämpfungsmaßnahmen zwar eine größtenteils tolerierbare Bestandesdichte, aber die Silphie-Pflanzen konnten sich kaum gegen Unkraut und Verungrasung durchsetzen und blieben schwach. Massive Bekämpfungsmaßnahmen wären notwendig gewesen, um den Bestand zu fördern. Eine Aufgabe der Fläche wurde in Betracht gezogen.

Im Jahr **2021** wurden ebenfalls wieder alle Flächen mit der TFZ-eigenen Fotodrohne befliegen. Der Zeitpunkt der Aufnahmen lag mit dem 06.07. und 07.07. wieder kurz vor dem Blühbeginn, da sich damit insofern gute Beurteilungsmöglichkeiten der Bestände bieten, als Startschwierigkeiten überwunden sind und zahlreiche hübsche Blüten noch nichts kaschieren.

Die in dem regenreichen Jahr 2017 angelegten Bestände waren nach anfänglichen Schwierigkeiten aufgrund des hohen Unkrautdrucks an manchen Orten zum jetzigen Zeitpunkt alle zumindest gut etabliert. Nur 10 % der Flächen benötigten noch etwas Anstrengung bei der Unkrautkontrolle oder beim Schließen von Lücken. 55 % der Flächen befanden sich am Optimum für den jeweiligen Standort und schafften es weitgehend mit eigener Konkurrenzskraft, den Status zu halten. Die restlichen 35 % sollten mit einer jährlich einmaligen Unkrautbekämpfung den optimalen Entwicklungszustand in den nächsten Jahren ebenfalls erreichen.

Die im Jahr 2018 angelegten Bestände litten dagegen extrem unter der ausgeprägten Trockenheit in 2018 und 2019. Erst im Jahr 2020 entspannte sich die Witterung so weit, dass sich die Bestände erstmals ansprechend entwickeln konnten und akzeptable Erträge brachten. Durch die wiederholten und hohen Niederschläge im Jahr 2021 (siehe Abbildung 5) konnte die Silphie weiter aufholen und gute Erträge ausbilden. Eine Praxisfläche musste als nicht weiter bewirtschaftungswürdig bewertet werden, sieben weitere Praxisflächen

benötigten Nachsaat und jährlich mehrmalige Unkrautbekämpfung, um einen akzeptablen Entwicklungszustand zu erlangen. Und bei weiteren sieben Flächen war zwar eine Nachsaat nicht erfolgsversprechend, diese benötigten aber wegen der starken Verunkrautung noch einen deutlich höheren Aufwand zu deren Kontrolle. Bei den restlichen 14 Flächen genügte jährlich eine mechanische Unkrautbekämpfung im Frühjahr. Eine dieser Flächen hatte sogar den Optimalzustand schon erreicht. Sie wurde in Reinkultur ohne Deckfrucht mit 37,5 cm Reihenabstand der Silphie angelegt, was sich in der Folge unter den schwierigen Bedingungen als perfekt gewählt erwies.

Über alle Flächen gesehen befanden sich im Jahr 2021 nur 24 Praxisflächen im Optimalzustand mit lediglich geringem Pflegeaufwand und ohne Lücken. 16 Flächen waren als sehr gut entwickelt zu bezeichnen, hatten ebenfalls geringen Pflegeaufwand und nur geringe Lücken. 15 Flächen zeigten einen guten Entwicklungszustand mit lediglich kleinen Lücken, aber hohem Unkrautdruck, der weiterhin jährlich eine Bekämpfung erforderte. Sieben Flächen waren ausreichend etabliert, hatten aber größere Lücken und/oder stärkeren Unkrautdruck und benötigten daher mehrmals im Jahr eine Unkrautbekämpfung. Fünf Flächen hatten einen dünnen bzw. stark lückigen Pflanzenbestand mit hohem Unkrautdruck, der nur mit stellenweiser Nachsaat und jährlich mehrmaliger Unkrautbekämpfung verbessert werden konnte. Zwei Flächen mussten in Teilbereichen umgebrochen und neu angesät werden. Eine Fläche war weiterhin in der bestehenden Form nicht weiter bewirtschaftungswürdig, wurde vom Landwirt aber so belassen.

Die zahlreichen und kräftigen Niederschläge während der Aufwuchsphase im Jahr 2021 führten zu einer deutlichen Entspannung der Trockensituation aus den vorausgehenden Jahren. Danach fielen in den Monaten Oktober bis Dezember 2021 ausreichend Niederschlag, wodurch eigentlich gute Startbedingungen für den Silphie-Aufwuchs 2022 eingeleitet wurden.

Im Jahr **2022** waren im Januar und Februar allerdings mancherorts Niederschlagsdefizite zu beklagen. Der März 2022 zeigte sich an allen Standorten der Projektregion extrem niederschlagsarm und führte damit zur Austrocknung der obersten Bodenschicht. Die Wintermonate waren insgesamt sehr mild, sodass der Austrieb Ende März frühzeitig einsetzte. Kräftige Niederschläge im April 2022 brachten rechtzeitig genügend Wasser für das Längenwachstum der gebildeten Triebansätze. Im Mai nahmen die Temperaturen deutlich zu, stiegen bis Mitte Juli kontinuierlich an und erreichten bis Anfang September Rekordwerte. Zunehmend kritisch waren die ausbleibenden Niederschläge von Mai bis Mitte September 2022, was die Entwicklung der Silphie ab Juni zunehmend bremste. Nur an vereinzelt Orten mit Gewitterschauern oder auf Flächen mit tiefgründigerem Boden war der Trockenstress geringer. Im August waren wegen Wassermangels an allen Standorten kaum mehr Biomassezuwächse feststellbar. Die Abreife schritt zügig voran und brachte eine frühe Ernte bei bestem Wetter. Insgesamt gab es an vielen Orten während der Vegetationszeit 2022 (ab Ende März bis Anfang August) für die Entwicklung der Durchwachsenen Silphie weniger Niederschläge als 2018 (siehe Abbildung 5). Temperatur- und Strahlungsmaxima traten aber nicht im gleichen Maße auf wie im Jahr 2018.

Dominiert von der erneut gravierenden Trockenheit lag die Biomassebildung im Jahr 2022 erwartungsgemäß deutlich hinter derjenigen der Vorjahre zurück. Die Pflanzen waren kleiner und schafften es oftmals nicht, die weiten Reihen mit einem Abstand von 75 cm bis Juli zu schließen und somit einen dichten Bestand zu bilden. Dies hatte zur Folge, dass fehlende Beschattung den Boden stärker austrocknete und das Unkrautaufkommen durch die Silphie weniger stark unterdrückt werden konnte. Für die folgenden Jahre wurde erwartet, dass der Pflegeaufwand dieser Bestände voraussichtlich ansteigen würde.

Besonders gravierend waren die Einbußen auf Flächen mit verstärktem Ungrasaufkommen. Bis zur einsetzenden ersten Abreife der Silphie entziehen Gräser viele Nährstoffe und Wasser. Gräser sind durch eine bessere Standortanpassung zu Beginn der Vegetation der Silphie überlegen.

Die Gräser profitierten 2022 durch den kühlen April und die vielen Niederschläge in diesem Monat (siehe Abbildung 5). Silphie-Bestände mit hohem Ungrasbesatz (Fuchsschwanz, Schwingel, Trespen und Jährige Rispe) sind in ihrer Jugendentwicklung durch die hohe Konkurrenz der Gräser eingeschränkt. Ab Mitte Juni legen solche Bestände im Höhenwuchs dann kräftig zu und vermitteln augenscheinlich eine gute Bestandesentwicklung. Die Ertragseinbußen sind aber bereits vorhanden und betragen erfahrungsgemäß schnell 10 %. Wenn nicht rechtzeitig gehandelt wird, fällt die Ertragsleistung nach TFZ-Erkenntnissen von eigenen Versuchsbeständen rasch um 30 % und mehr ab. Gräser sind bei lückigen Beständen, aber auch bei großem Reihenabstand (wie hier 75 cm) ein oft unterschätztes Problem. Aus diesen Gründen sind die Flächen im Frühjahr, bei beginnender Blattbildung der Silphie, auf Gräser zu kontrollieren. Eine chemische Bekämpfung muss erfolgen, wenn in der Reihe ein starker Besatz an kräftigen Gras-Altpflanzen besteht oder solche Gräser bereits zwischen den Reihen zu beobachten sind. Durch einen Hackgeräteeinsatz kann eine starke Vergrasung nicht ausreichend bekämpft werden, einzig ein rechtzeitiger und ggf. wiederholter Einsatz mit einer Reihenfräse kann als mechanische Bekämpfungsvariante helfen.

Im Jahr 2022 hatte sich der Grasbesatz in vielen Silphie-Beständen überaus stark fortentwickelt. Viele Landwirte waren deswegen gezwungen, Anfang 2023 eine Bekämpfung mit einem auf das Gräserspektrum passenden Graminizid als Einzelfallmaßnahme nach § 22 Abs. 2 PflSchG zu beantragen und durchzuführen.

Besteht zusätzlich noch der Bedarf der Bekämpfung von Unkräutern, ist zügig zu handeln. Für eine erfolgreiche chemische Ungrasbekämpfung ist ausreichend frische Blattmasse erforderlich und die sichere Wirkstoffaufnahme über einen Zeitraum von 10 bis 14 Vegetationstagen nach Applikation zu gewährleisten. Eine mechanische Unkrautbekämpfung hat in diesem Zeitraum zu unterbleiben. Danach muss aber noch genügend Zeit sein, zumindest einen oder bei Notwendigkeit auch zwei Hackeinsätze gegen die Unkräuter durchführen zu können.

Schon die starke Zunahme eines bislang unterschwelligem Grasbesatzes lag im Jahr 2022 deutlich über den Erwartungen. Dass durch die Trockenheit wieder die alten Problem-

stellen aus dem Anlagejahr zum Vorschein kamen, enttäuschte nach zwei bis drei Jahren stetiger Bestandeskräftigung sehr.

Problemstellen mit schwacher Pflanzenentwicklung, aber ohne Lücken, die allein durch die Flachgründigkeit des Bodens bedingt sind, werden wieder verschwinden, sobald ausreichend Wasser zur Verfügung steht. Diese Stellen zeigten bislang wenig Verunkrautung. Wegen der mangelnden Bodenbedeckung musste dort aber eine starke Zunahme der Verunkrautung befürchtet werden. Weiterhin konnte nicht ausgeschlossen werden, dass es den durch Trockenheit geschwächten Pflanzen an ausreichend Reserven für einen kräftigen Austrieb mangelt. Zudem war offen, ob für den neuen Aufwuchs im Frühjahr 2023 ausreichend Wasser zur Verfügung steht.

Bei Problemstellen, die durch schwache Pflanzen sowie dünnen, lückigen Bestand gekennzeichnet und seit Anlagebeginn bekannt waren (Abbildung 11), sollten Reparaturmaßnahmen zur Bestandessanierung erfolgen. Bei Unterlassung der empfohlenen Maßnahmen kann es in diesen Bereichen des Bestandes schnell zu dauerhaften Problemen kommen. Diese Maßnahmen zur Sanierung sollten möglichst früh durchgeführt werden, um die Feuchtigkeit im Frühjahr zu nutzen.



Abbildung 11: Dauerhafte Problemstelle in einer Silphie-Fläche basierend auf schwachen Pflanzen und Lücken im Bestand

Bei großflächigen Problemstellen, schwachem Bestand und größeren Lücken (Beispiel siehe Abbildung 12) ist ein partieller Umbruch mit Neuansaat zu empfehlen. Die Frage, ob mit oder ohne Deckfrucht und eventuell mit welcher Reihenweite, stellt sich erneut und ist in Abhängigkeit der örtlichen Verhältnisse zu entscheiden. Ein Teilumbruch ist erforderlich,

wenn weniger als drei Pflanzen je m² vorliegen oder diese ungleichmäßig verteilt sind. Eine Verringerung der Reihenweite bringt zwar gleichmäßigere und schneller schließende Bestände, vergrößert aber auch den Aufwand beim Hackgeräteeinsatz. Ohne Deckfrucht kräftigt sich die Silphie wesentlich schneller als mit, der Pflegeaufwand im ersten Jahr kann durch ihre mangelnde Konkurrenzkraft aber deutlich ansteigen. Letztendlich entscheidet die An- oder Einbindung der Umbruchsfläche in den Altbestand über den Entscheidungsfreiraum bei der Neuansaat einer Teilfläche. Oben genannte Hinweise hinsichtlich Herbizid- und Hackgeräteeinsatz treffen auch hier zu.



Abbildung 12: *Silphie-Fläche mit flächigem Bestandesausfall*

Bei zu hohem Unkrautdruck und/oder mangelnder Bodenqualität und infolgedessen großem Bestandesausfall auf der Fläche ist vom Festhalten am Silphie-Bestand abzuraten. Eine andere Nutzung dieser Fläche ist zu empfehlen.

In Einzelfällen waren auf den Praxisflächen Bereiche zu beobachten, an denen Silphie-Pflanzen vollständig ausgefallen waren. Zum einen waren es Stellen mit offensichtlich ortsbedingten Bodenmängeln und zum anderen Stellen, die erkennbar verstärkt befahren wurden. Wenn bei der Ernte und Abfuhr des Häckselmaterials das Feld immer an derselben Stelle verlassen wird, leiden dort sowohl die Bodenstruktur als auch der Pflanzenbestand.

Die Durchwachsene Silphie ist bezüglich der Überfahrten nicht besonders empfindlich. Falls aber immer wieder dieselben Fahrspuren verwendet werden, führt dies zunehmend zum Ausfall von Pflanzen. Sofern nicht exakt zwischen den Reihen gefahren werden kann,

sollte darauf geachtet werden, die Fahrspuren zu wechseln. Erkennbare Fahrspuren im Bestand bedingen einen zunehmenden Pflegeaufwand bzw. Reparaturmaßnahmen.

Insgesamt verschlechterte sich im Jahr 2022 die Güte der Silphie-Bestände: Während im Jahr 2021 noch 24 Flächen einen exzellenten Zustand hatten, waren es im Jahr 2022 nur noch neun Flächen. Die Anzahl sehr guter Flächen erhöhte sich dadurch von 16 auf 24. Die guten Flächen reduzierten sich von 15 auf 14, die durchschnittlichen Flächen stiegen um drei auf zehn und die mangelhaften Flächen sogar um fünf auf ebenfalls zehn Flächen an. Die Anzahl sehr mangelhafter Flächen blieb bei zwei und als inakzeptabel wurde weiterhin nur eine Fläche bewertet.

35 Flächen behielten ihren Status, 30 Flächen verschlechterten sich – teilweise sogar um zwei Bewertungsstufen – und nur bei fünf Flächen war ein Fortschritt ersichtlich. Die meisten Silphie-Bestände, deren Zustand sich verschlechterte, befanden sich unter den 2017 angelegten Flächen. Die Bestände, die eine bessere Entwicklung aufzeigten, wurden – bis auf eine Ausnahme – alle im Jahr 2018 angelegt. Im Mittel verringerte sich die Qualität der im Jahr 2017 angelegten Flächen um fast eine ganze Boniturnote. Bei den im Jahr 2018 angelegten Flächen blieb die Boniturnote im Durchschnitt nahezu unverändert.

Die Wintermonate im Jahr **2023** waren mild, die Niederschlagsmengen normal. Ab Mitte März kam es des Öfteren zu Regenfällen, mit insgesamt hohen Regenmengen (Abbildung 6). Zu Beginn des Frühjahrs war damit allorts der Bodenwasservorrat vollständig aufgefüllt. Im Gegensatz zu den vergangenen Jahren, in denen nach überwiegend milden Wintern die Erwärmung im März für einen frühen Austrieb gesorgt hatte, war dieses Jahr der Austrieb deutlich verspätet, was den hohen Niederschlägen im März und insbesondere dem kühlen April zuzuschreiben war. Mit Beginn Mai setzte dann allerdings ein kräftiger Austrieb der Silphie ein. Die Pflanzen waren üppig und brachten meist gut geschlossene Bestände. Mit zunehmender Wasserknappheit, durch die zweimonatige Trockenperiode ab Ende Mai, wurde das Längenwachstum der Triebe dann allerdings gebremst. Mit Beginn der Blüte war allorts vom verzögerten Austrieb nichts mehr feststellbar, es fehlte aber an Pflanzenmasse. Dieses Defizit konnte in der generativen Phase trotz bester Wachstumsbedingungen nicht mehr hereingeholt werden. Der Wiederaustrieb der Silphie nach Ernte war dank wiederholter Niederschläge und anhaltend milder Witterung normal, sodass die Silphie gut gestärkt in den Winter gehen konnte.

Im Durchschnitt konnten sich die Bestände im Vergleich zum Vorjahr leicht kräftigen. Es gab aber zahlreiche Verschiebungen. Insbesondere bei den Spitzenbeständen fielen viele ab, während Bestände aus dem Anlagejahr 2018 sich überwiegend besserten, einige sogar deutlich. Standorte mit kritischen Bodenverhältnissen verloren aber oft an Qualität.

Ein besonderes Ärgernis war aber der weiterhin hohe Besatz mit Ungräsern. Obwohl die Landwirte beim Frühjahrestreffen im Projektverbund sensibilisiert wurden und obwohl noch ein gesonderter E-Mail-Aufruf zur Kontrolle der Bestände auf Gräser an alle zum Zeitraum bester Bekämpfungsmöglichkeit erging, hielten es viele nicht für notwendig, etwas gegen die Ungräser zu unternehmen. Auf eine Umfrage antworteten 46 %, von denen 39 % eine gezielte Bekämpfung durchführten, 43 % davon nur auf einer Teilfläche.

Der Besatz einer Silphie-Fläche mit Gräsern ist auf den Drohnenbildern selbst bei großen Flächen ausreichend gut zu erkennen. Einige Landwirte versäumten es schon mehrere Jahre, gegen Ungräser etwas zu unternehmen. Dadurch wurden die Silphie-Pflanzen geschwächt und zurückgedrängt. Die Lücken werden zunehmend größer, die Graspflanzen stärker und das Samenpotential im Boden wächst an. Hier sind mehrere gezielte Bekämpfungen in Folge und über mehrere Jahre erforderlich, um die Verungrasung wieder zurückzudrängen. Es muss auch damit gerechnet werden, dass Silphie-Pflanzen bereits verdrängt wurden, was ein Nachpflanzen oder Nachsäen in den Lücken erfordert, um die Situation wirksam zu verbessern. Dieses Verschleppen der notwendigen Maßnahmen ist ein sowohl ökonomisches als auch ökologisches Fiasko. Der Silphie-Ertrag sinkt bereits frühzeitig und je später die Gräserbehandlung erfolgt, desto intensiver, flächiger und häufiger muss behandelt werden.

Dasselbe Schicksal drohte auch ein paar anderen Anbauern in mehr oder weniger kurzer Zeit, wenn der Silphie-Bestand großflächig nicht vollständig schloss und zwischen den Reihen Ungräser noch zu Anfang Juli erkennbar waren. Je nach Witterungsverlauf, Grasart und Intensität der mechanischen Bekämpfung kann die Situation innerhalb eines Jahres kippen. Hier war schnellstmöglich eine, unter Umständen auch zwei gezielte Gräserbekämpfungen auf der gesamten Fläche angezeigt, damit das Ungras nicht dominant wird und die Silphie sich wieder kräftigen kann.

In den weitaus meisten Fällen reicht es vermutlich, nur eine Teilfläche zu behandeln und damit die Einwanderung von Gras zu unterbinden. Diese Teilflächen liegen meist am Flächenrand oder sind durch Befahren stärker strapazierte Flächen. Auch trockene Teilbereiche, die schon im Anlagejahr problematisch waren, sind für Verungrasung prädestiniert. Man sollte aber in jedem Fall kein Risiko eingehen und die gesamte Fläche kontrollieren, nicht dass man im Jahr darauf feststellen muss, dass die Maßnahme zu klein gegriffen war.

Das Jahr **2024** zeigte im Februar und März deutlich höhere Temperaturen (Abbildung 6). Da aber auch die Niederschlagssummen zum Jahresanfang bis zum Monat Mai (mit Ausnahme im März) hoch ausfielen, konnten sich bis zum Juni sehr üppige Silphie-Bestände entwickeln (siehe Abschnitt 4.1.2). Diese Entwicklung war nicht nur bei Beständen zu beobachten, die in den vorherigen Jahren bereits in den Kategorien exzellent oder sehr gut eingeordnet waren, sondern ebenso bei Beständen, bei denen in den Vorjahren die Bewertung eher durchschnittlich oder sogar mangelhaft ausgefallen war. Durch die ausreichenden Niederschläge in der ersten Jahreshälfte konnten sich die Bestände insgesamt, ähnlich wie im Jahr 2023, weiter kräftigen.

4.1.2 Ausgewählte Flächen im Jahresverlauf

Um die jährliche Entwicklung verschiedener Silphie-Bestände über die Jahre zu veranschaulichen, sind nachfolgend einige ausgewählte Flächen dargestellt.

In Abbildung 13 ist ein echter Spitzenbestand über die Jahre von 2018 bis 2024 zu sehen. Die Fläche weist nur geringe Bodenunterschiede auf und besitzt keine Strukturschäden.

Der erste Streifen am linken Feldrand wurde in Reinsaat, also ohne Deckfrucht Mais, und der übrige Teil als Untersaat angelegt. Dieser Streifen in Reinsaat zeigte über die Jahre hinweg ein rasches Hochwachsen und damit mehr Pflanzenhöhe, einen früheren Reihenschluss und eine höhere Biomassebildung.



Abbildung 13: Sehr guter Silphie-Bestand im Zeitverlauf, oben links: 2018, oben rechts: 2019, Mitte links: 2020, Mitte rechts: 2021, unten links: 2022, unten rechts: 2024

Abbildung 14 zeigt ebenfalls einen sehr guten Bestand. Die Fläche weist stellenweise Bodenmängel auf. Außerdem konnten Einflüsse durch intensives Befahren links unten an der Feldecke festgestellt werden, die häufigste Stelle, um den Acker zu verlassen.



Abbildung 14: Sehr guter Bestand mit stellenweise vorhandenen Bodenmängeln, oben links: 2019, oben rechts: 2020, Mitte links: 2021, Mitte rechts: 2022, unten links: 2023, unten rechts: 2024

Die Silphie-Fläche in der Nähe von Pegnitz (Abbildung 15) wurde 2017 unter der Deckfrucht Mais erstmals angelegt. In der Feldmitte wurde ein Erosionsschutzstreifen mit Ackergras belassen, der erst im Jahr 2018 mit Durchwachsener Silphie eingesät wurde. Dabei erfolgte die Einsaat ohne Deckfrucht Mais und mit etwa halbem Reihenabstand durch Gegenfahren. Der Streifen in der Mitte zeigte ab 2019 keinen Entwicklungsrückstand zur ein Jahr früher gesäten Silphie mit Etablierung unter Mais. Ganz im Gegenteil zeigte sich der 2018 angelegte Streifen überwiegend dichter und unproblematischer hinsichtlich einer Verunkrautung.



Abbildung 15: Fläche, mit Nachsaat in der Mitte (vorher Erosionsschutzstreifen), oben links: 2019, oben rechts: 2020, Mitte links: 2021, Mitte rechts: 2022, unten links: 2023, unten rechts: 2024

In Abbildung 16 ist ein Bestand zu sehen, der auf einem leichteren Boden etabliert wurde. Auf leichten Böden ist vor allem Wasser im Mangel und damit oftmals auch das Nährstoffangebot. Unter solchen Bedingungen entwickelten sich die Bestände wesentlich schwächer (siehe Abbildung 13 und Abbildung 14), die Reihen blieben eventuell das ganze Jahr offen und die Bestände benötigten wesentlich intensivere Pflege, um die Unkrautproblematik in den Griff zu bekommen. In Abbildung 16 (oben) ist ersichtlich, dass im mittleren Bereich der Fläche eine Verunkrautung mit Barbarakraut und am unteren rechten Rand der Fläche eine Verunkrautung mit Kamille vorherrscht. Im Jahr 2021 zeigte sich eine Verunkrautung mit Berufskraut (Abbildung 16, Mitte links) und im Jahr 2022 war ein vermehrtes Distelaufreten in der Fläche erkennbar (Abbildung 16, Mitte rechts).

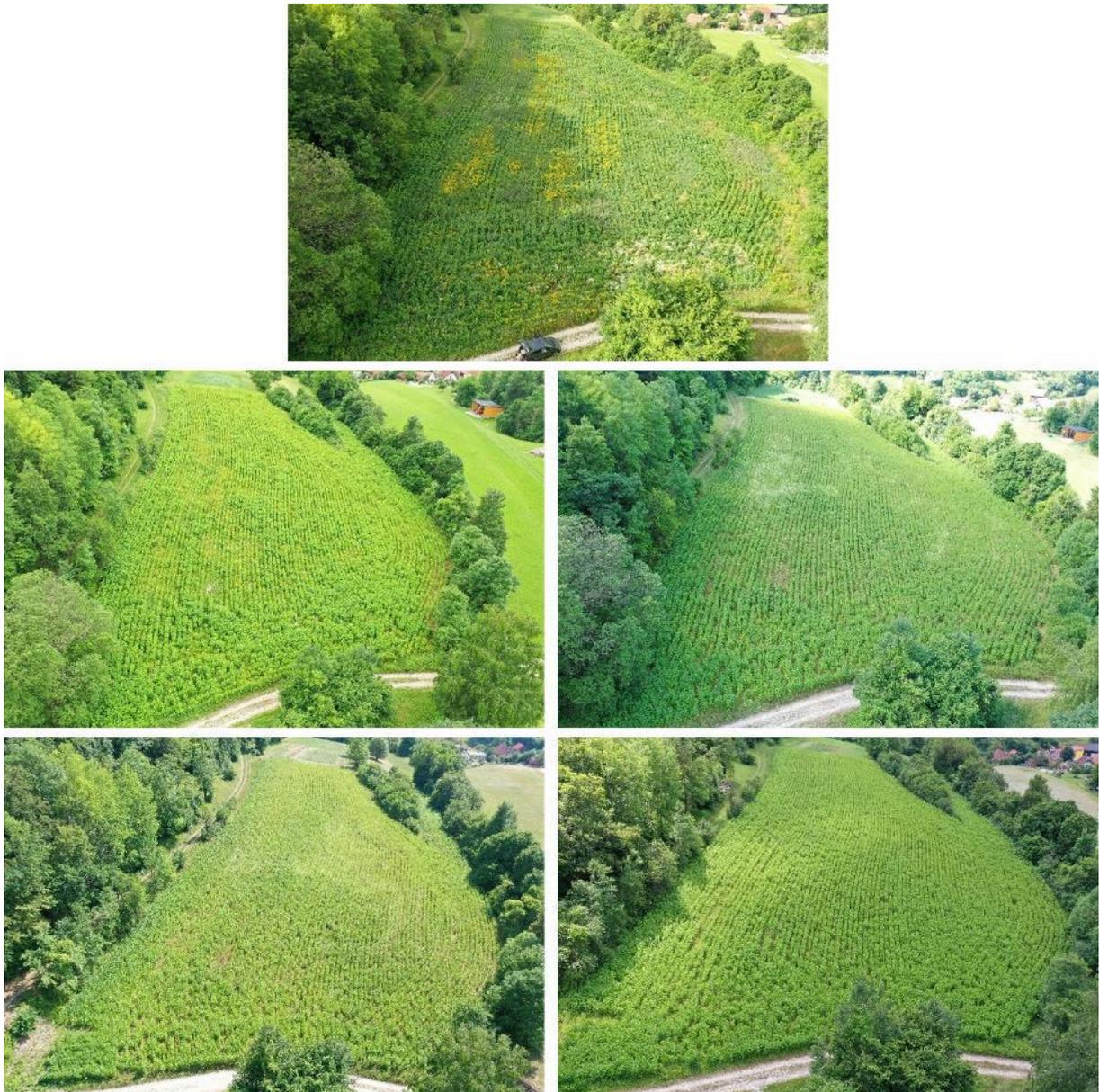


Abbildung 16: Leichter Boden mit schwächerer Bestandesentwicklung, oben: 2020, Mitte links: 2021, Mitte rechts: 2022, unten links: 2023, unten rechts: 2024

Ein schlechter Start der Bestandesetablierung von Durchwachsener Silphie ist kein Grund für eine Aufgabe der Fläche, wie der im Trockenjahr 2018 angesäte Bestand in Abbildung 17 zeigt. Voraussetzung ist, dass die Silphie-Pflanzen gleichmäßig verteilt sind und eini-germaßen kräftig stehen. In Abbildung 17 ist oben links eine extreme Verunkrautung mit Unechter Kamille im zweiten Standjahr (2019) ersichtlich. Extremverunkrautung wegen Wirkungslücken des Herbizids lässt sich fast immer durch eine vorgezogene Beerntung zur Blüte der Unkräuter in den Griff bekommen, um eine weitere Steigerung des Samenpotenzials zu verhindern. Im Frühjahr sollte das Hacken nicht vergessen und bei Bedarf rechtzeitig gegen Gräser gespritzt werden, sodass sich nach und nach ein erfolgreicher Bestand entwickeln kann, wie in Abbildung 17 zu sehen. Im Jahr 2023 waren durchaus noch Lücken im Bestand erkennbar. Allerdings führten ausreichende Niederschläge im

Jahr 2024 dazu, dass sich ein gleichmäßiger Bestand mit nur vereinzelt Lücken entwickeln konnte.

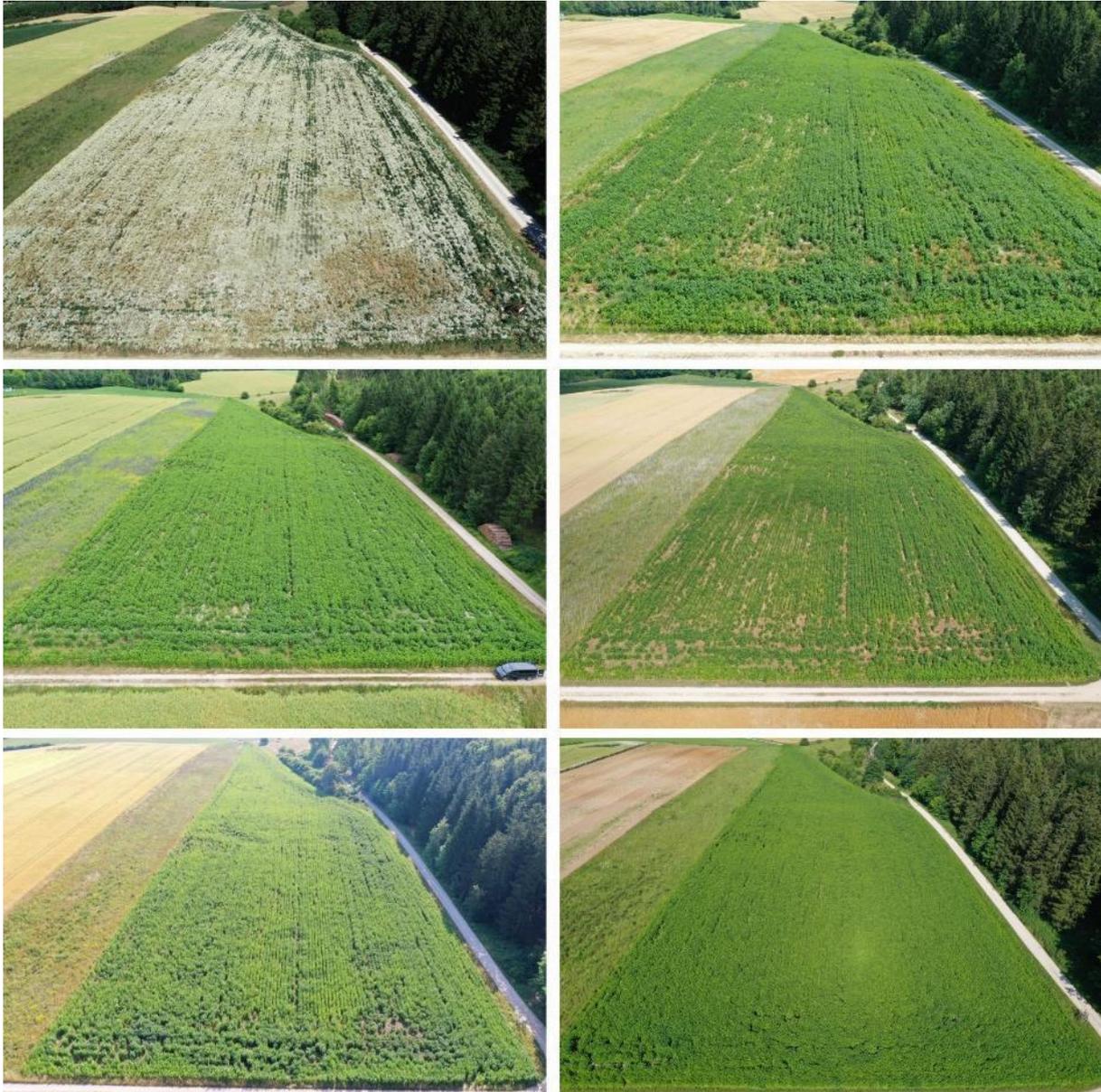


Abbildung 17: Schlechter Start der Bestandesetablierung, der sich von Jahr zu Jahr verbessert, oben links: 2019, oben rechts: 2020, Mitte links: 2021, Mitte rechts: 2022, unten links: 2023, unten rechts: 2024

Selbst auf anfänglich katastrophal startenden, guten Flächen, kann sich allein mit guter Pflege ein guter Bestand entwickeln. In den ersten beiden Jahren (Abbildung 18, oben) war die Verunkrautung enorm und die Bestandeslücken waren riesig. Durch entsprechende Pflegemaßnahmen wurde der Unkrautdruck von Jahr zu Jahr gemindert und dadurch die Lücken im Bestand deutlich weniger. Im Jahr 2024 hatte sich ein guter Bestand entwickelt, der allerdings im linken Bereich noch immer einige Lücken aufwies. In Abbildung 18 sieht man auch sehr deutlich, dass die Silphie entgegen anderen Kulturen

Waldränder besser verträgt. Dies wird zum einen auf die dort höhere Feuchte zurückgeführt, die insbesondere bei der Keimung einen dichteren Bestand garantiert, ansonsten auch auf die verminderte Verdunstung durch Beschattung in den Folgejahren.



Abbildung 18: *Katastrophaler Start der Bestandesetablierung, der sich durch Pflegemaßnahmen von Jahr zu Jahr verbessert, oben links: 2019, oben rechts: 2020, Mitte links: 2021, Mitte rechts: 2022, unten links: 2023, unten rechts: 2024*

4.1.3 Beratung zur Unkraut-/Ungrasbekämpfung

Im Ansaatjahr der Durchwachsenen Silphie ist derzeit Stomp Aqua die zugelassene und damit standardmäßige und gute Möglichkeit der chemischen Unkrautbekämpfung. Unter Deckfrucht Mais beträgt die Einsatzmenge maximal 4,4 l/ha und Jahr, in Silphie-Reinsaat maximal 3,5 l/ha und Jahr. Aufgrund seiner Bodenwirkung muss Stomp Aqua möglichst auf feuchtem Boden unmittelbar nach der Saat oder bis spätestens zu Beginn des Laubblattstadiums der auflaufenden Unkräuter eingesetzt werden. Wird dieses Zeitfenster, beispielsweise durch ungünstig trockene Witterung, verpasst, verringert sich die Wirkung des Pflanzenschutzmittels entsprechend.

Eine Unkrautbekämpfung im Herbst nach Ernte ist schwierig, wenn zu wenig Blattmasse der Unkräuter, ausklingende Vegetation und damit fehlende Wüchsigkeit sowie – wie in den Jahren 2018 und 2019 – insbesondere die Trockenheit die Wirkung bodenwirksamer Herbizide gravierend verschlechtern.

Liegt eine entsprechend starke Verunkrautung vor, ist der einfachste und sicherste Weg zu deren Bekämpfung der Einsatz eines Hackgeräts, eines Rollkulis oder am besten einer Reihenfräse. Letztere ist insbesondere bei sehr dichter Verunkrautung, vielen Unkraut-Altpflanzen, kräftiger Maisreststoppel, lagernder, umgedrückter oder abgebrochener Pflanzen oder Triebe sowie bei problematischer Verunkrautung wie Disteln hervorragend geeignet. Außerdem schafft eine Reihenfräse auch eine gute Eliminierung von Ungras, was Hackgerät oder Rollkuli nicht können.

Frühe Einsätze der Geräte sind bei der Silphie erforderlich, um eine rasche Jugendentwicklung zu unterstützen. Zusätzlich sollte auch noch ein später Termin als Abschlussmaßnahme eingeplant werden, um das Überwachsen und Unterdrücken des Unkrauts mit Reihenschluss bestmöglich zu gewährleisten. Bei gut terminiertem letzten Einsatz einer Fräse oder Hacke zieht die Silphie dann rasch zu und entzieht den Unkräutern das notwendig Licht für deren schädigenden Aufwuchs.

Frühe Einsätze sind von der Unkrautdichte abhängig. Sie müssen frühzeitig genug angesetzt werden, um der Silphie den Konkurrenzdruck zu nehmen und um die Funktion des Hackgeräts sicherzustellen. Eventuell sind mehrere Termine bis zur Abschlussmaßnahme erforderlich.

Beim späten Termin gleiten die Silphie-Pflanzen gerade noch unter dem Schlepper und dem Gerät durch. Die Pflanzen dürfen dabei auch leicht umgedrückt werden, sie sollten nur nicht knicken oder abreißen. Gegebenenfalls sollte der Einsatz in den Abend verlegt werden, wenn die Pflanzen einen geringeren Turgor haben und dadurch elastischer sind. Schnelles Fahren ist hier nicht mehr möglich. Die Durchgangshöhe bei Gerät und Schlepper begrenzt die Terminwahl.

Die Unkrautbekämpfungsmöglichkeiten ab dem zweiten Standjahr der Silphie sind sehr eingeschränkt. Ein sinnvoller Einsatz von Stomp Aqua ist fast gar nicht mehr möglich, da Stomp Aqua lediglich kleine Unkrautstadien erfasst, das Unkraut in den weitaus überwiegenden Fällen aber bereits seit Herbst des Vorjahrs stark entwickelt vorliegt. Zudem sind

in den Folgejahren fast ausschließlich Unkräuter vorhanden, die durch Stomp Aqua nur unsicher oder gar nicht erfasst werden. Andere Herbizide mit guter Wirkung gegen diese Unkräuter, wie zum Beispiel aus der Gruppe der Sulfonylharnstoffe oder der Wuchsstoffe, sind unverträglich für die Silphie und können daher nicht eingesetzt werden. Liegt eine starke Verunkrautung vor, ist der Einsatz eines Hackgeräts der einfachste und sicherste Weg zur Kontrolle. Dieser Einsatz sollte bestenfalls mehrfach und möglichst spät erfolgen, damit direkt danach der Reihenschluss erfolgen kann und so den Unkräutern das Licht zum Wiederaufwuchs genommen wird. Silphie hat durch ihr dichtes Blattwerk eine sehr gute Unkrautverdrängung, kann diesen Vorteil aber nur ausspielen, wenn ihr keine Konkurrenten die Nährstoffe rauben oder sie überwachsen oder sie generell einen lückigen und zu dünnen Bestand entwickelt hat.

In dieser Hinsicht sind auch Gräser eine hohe Gefahr für gute Erträge. Sie können aber durch reine Graminizide hervorragend bekämpft und in ihrer Konkurrenz getilgt werden. Aus den Erfahrungen mit den Praxisflächen wurde ersichtlich, wie die Verungrasung bei den Silphie-Flächen stetig zunahm und sich teilweise sprunghaft entwickelte.

Die Zunahme der Verungrasung kann der Anbauer nur bedingt durch Hacken und das Zupflanzen von Lücken bremsen. Viel entscheidender ist der Umstand, dass die vorkommenden Schadgräser besser an unser Klima adaptiert sind als die Silphie, sodass eine natürliche Neigung zur Verungrasung besteht, die standortabhängig mehr oder weniger ausgeprägt ist. Außerdem fördern kühle und feuchte Frühjahre die Verungrasung, da sie die Entwicklung der Silphie hemmen. Je nach Art und Stärke der Verungrasung kann es rasch zu Ertragseinbußen von rund 30 % kommen, die unter bestimmten Voraussetzungen wie beispielsweise Trockenheit auch auf 50 % und mehr ansteigen können.

Leider gibt es bisher keinen wissenschaftlich ermittelten Schwellenwert für Verungrasung bei der Silphie. Aus Schwellenwerten zum Getreideanbau in Verbindung mit den Erfahrungen der letzten Jahre konnte aber eine praktikable Entscheidungshilfe für eine gezielte Gräserbekämpfung aufgestellt werden (Abbildung 19). Bei der üblichen Unkrautbekämpfung mit Hacke werden die Gräser zuerst ausreichend miterfasst. Im Lauf der Zeit entwickelt sich aber in der Pflanzenreihe eventuell ein kräftiger Gräserbesatz. Auch zwischen den Reihen können mehrjährige Gräser kräftige Wurzelstöcke bilden, die von einem Scharhackgerät nicht mehr nennenswert erfasst werden können. Rollhackgeräte bieten hier länger eine Bekämpfungsmöglichkeit, am längsten eine Reihenfräse, die aber eher selten zur Verfügung steht.

Wenn alle verfügbaren mechanischen Maßnahmen ausgeschöpft sind, bleibt letztendlich nur noch der Einsatz von selektiven Gräsermitteln. Sollen solche Gräsermittel eingesetzt werden ist darauf zu achten, ob primär die Jährige Risppe zu bekämpfen ist oder die Quecke. Bei der Notwendigkeit der Bekämpfung von Jähriger Risppe ist ein Mittel mit dem Wirkstoff Clethodim zu bevorzugen, beispielsweise im Präparat mit dem Handelsnamen „Select 240 EC“. Bei vorrangiger Bekämpfung von Quecke ist ein Mittel mit dem Wirkstoff Fluazifop-P, wie zum Beispiel in dem Präparat mit dem Handelsnamen „Fusilade Max“, empfehlenswert. Sauergräser, das sind Gräser mit dreikantigem Stängel, werden mit selektiven Gräsermitteln nicht erfasst, Rotschwengel nur mit geringer Wirkung, alle anderen

Gräser werden von allen Gräsermitteln mit Wirkstoffen der Wirkstoffgruppen „-dim“ und „-fop“ sehr gut erfasst. Zu berücksichtigen ist aber in jedem Fall, dass kein Gräsermittel eine Zulassung in Silphie besitzt und daher immer eine Einzelfallgenehmigung nach § 22 Abs. 2 Pflanzenschutzgesetz beim zuständigen Landespflanzenenschutzamt, in Bayern die Landesanstalt für Landwirtschaft, einzuholen ist. Wegen der hervorragenden Verträglichkeit und der hohen Wirksamkeit selbst gegen kräftig und weit entwickelte Graspflanzen, sind diese Mittel aber bevorzugt einzusetzen.

Wann ist eine Bekämpfung notwendig?

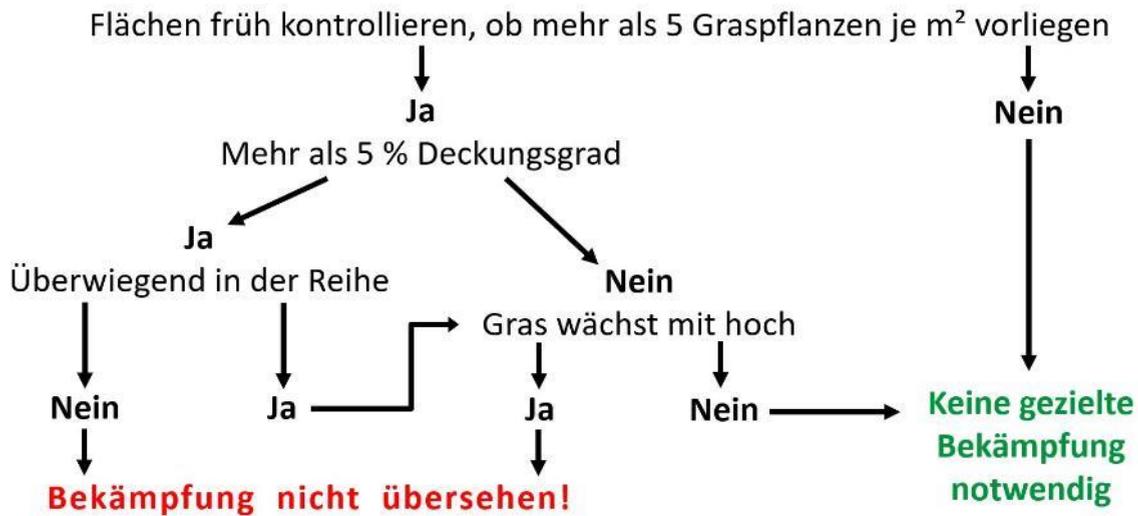


Abbildung 19: Entscheidungsschema zur Gräserbekämpfung

Bleibt nur noch zu unterscheiden, ob Jährige Risppe oder Quecke dominiert, was am stark differierenden Habitus leicht erkennbar ist. Die Jährige Risppe ist durch die typische Kahnspitze der Blätter zu erkennen. Die Quecke dagegen weist steife Blätter mit Behaarung auf und besitzt weiße, glatte Rhizome. Für den Rotschwengel sind die sehr schmalen, stark gefalteten, steifen und kurzen Blätter kennzeichnend.

Für eine gute Wirkung der Gräsermittel ist darauf zu achten, dass zum Zeitpunkt der Anwendung gute Wachstumsvoraussetzungen herrschen. Auch Trockenheit mindert die Wirkung erheblich. Zudem ist wichtig, dass der Wirkstoff ausreichend Zeit hat, in die Pflanze einzuziehen und sich darin zu verteilen. Bei Quecke sind hier 14 Tage mit Vegetation erforderlich, bei anderen Gräsern ohne Wurzeläusläufern sind fünf Tage ausreichend. Der Einsatz sollte möglichst früh erfolgen, um eine Schädigung der Silphie durch Wasser- und Nährstoffentzug zu vermeiden. Eine Zweitbehandlung bei dichtem Grasbewuchs oder durch in mehreren Wellen auflaufende Gräser kann erforderlich sein. Hier ist abzuwägen, ob mit Aufwandmengensplitting die erforderliche Wirkung erzielt werden kann, oder ob der Einsatz zweier, im Wirkstoff verschiedener Mittel erforderlich ist.

4.1.4 Kurzzusammenfassung zu den Praxisflächen

Als Fazit aus der Begleitung der Praxisflächen bleibt festzuhalten, dass nur auf guten Standorten der weite Reihenabstand von 75 cm erfolgreich praktiziert werden kann. Bei engerem Reihenabstand schließen die Silphie-Bestände wesentlich früher und haben dadurch einen geringeren Pflegeaufwand.

Eine gute Unkrautbekämpfung im ersten Jahr ist entscheidend für eine rasche und gute Entwicklung. Ob die Etablierung unter der Deckfrucht Mais oder als Reinbestand erfolgt, ist dabei weniger von Bedeutung. Allerdings ist der verfügbare Zeitraum für die maschinelle Unkrautkontrolle bei Etablierung unter Mais stärker eingeschränkt, dies sollte bei vermutetem hohem Unkrautdruck beachtet werden.

Die Verungrasung darf nicht unterschätzt werden, sie nimmt im Laufe der Standjahre durch vom Ackerrand einfliegende Samen zu. Gräser sollten rechtzeitig bekämpft werden, um das Samenpotenzial gering zu halten, Problemgräser auszuschalten und einen schleichend zunehmenden Ertragsverlust zu verhindern.

Silphie verträgt die Trockenheit etwas besser als klassische Ackerkulturen, sie braucht für einen hohen Ertrag aber genau so viel Wasser wie klassische Ackerkulturen. Als Dauerkultur profitiert Silphie aber besser von der Winterfeuchtigkeit und kann wüchsige Witterungsbedingungen im zeitigen Frühjahr sehr gut nutzen.

4.2 Erkenntnisse zu den Schauflächen

4.2.1 Schaufläche Landwirtschaftliche Lehranstalten Bayreuth (Etablierungs- und Pflegevarianten)

Die Aussaat der Varianten 3 bis 10 erfolgte unter sehr guten Bedingungen am 17.05.2017. Zuerst wurde Mais gesät. Es erfolgte keine Reihendüngung. In einem zweiten Arbeitsgang wurde die Saat der Silphie durchgeführt. Bei Mais wurde die Sorte Geoxx Duo verwendet (Saatedichte sechs Körner je m²). Das Silphie-Saatgut stammte von Metzler und Brodmann GmbH. Für die Einzelkornsaat stand ein Gerät von Gaspardo mit Metall-Mittellandruckrolle und V-Nachlaufwalkrollen zur Verfügung. Die Drillsaat wurde mit einem Gerät von Kverneland mit pneumatischer Saatgutverteilung durchgeführt, welches mit Scheibenscharen ausgerüstet ist, die einer Hartgummipackerrolle nachlaufen. Der Saatstriegel wurde hoch gehängt, um die geringe Ablagetiefe von ca. 1 cm zu gewährleisten. Die erreichte gute Einbettung wird in Abbildung 20 verdeutlicht.



Abbildung 20: Links: Einbettung bei Einzelkornsaat, Mitte: Einbettung bei Drillsaat, rechts: Einbettung bei Pflanzung, Schaufläche LLA Bayreuth

Am 27.06.2017 wurden bei den gesäten Varianten und am 25.08.2017 bei den gepflanzten Varianten die Bestandesdichten ausgezählt, die erhobenen Daten sind in Tabelle 6 zusammengefasst.

Tabelle 6: Bestandesdichte der Schaufläche LLA Bayreuth, n. a. = not available (nicht verfügbar)

Variante	Bestandes- dichte Mais in Pfl/m ²	Bestandes- dichte Silphie in Pfl/m ²	Feldaufgang Mais in %	Feldaufgang Silphie in %
1 Pflanzung Silphie mit 2 Pfl/m ²	n. a.	1,9	n. a.	93
2 Pflanzung Silphie mit 4 Pfl/m ²	n. a.	3,6	n. a.	91
3 Reinsaat Silphie, Einzel- kornsaat 25 Kö/m ²	n. a.	13,2	n. a.	53
4 Silphie unter Deckfrucht Mais, Einzelkornsaat 15 Kö/m ²	5,7	8,0	94	53
5 Silphie unter Deckfrucht Mais, Drillsaat 15 Kö/m ²	5,3	14,4	89	65
6 Silphie unter Deckfrucht Mais, Einzelkornsaat 25 Kö/m ²	5,5	20,0	91	58
7 Silphie unter Deckfrucht Mais, Drillsaat 25 Kö/m ²	5,4	9,8	89	49
8 Silphie unter Deckfrucht Mais, Einzelkornsaat 35 Kö/m ²	5,6	12,3	93	57
9 Silphie unter Deckfrucht Mais, Drillsaat 35 Kö/m ²	5,1	14,7	86	42
10 Silphie unter Deckfrucht Mais, Einzelkornsaat 25 Kö/m ² , keine Unkraut- kontrolle	5,5	9,7	92	39

Der Mais zeigte nicht die erwartete Leistung und blieb stellenweise vor allem aufgrund extremer Verungrasung mit Hirse kräftig zurück (Abbildung 21). Auch die Silphie entwickelte sich am Standort Bayreuth in allen Varianten recht schwach (Abbildung 22).



Abbildung 21: Entwicklungsrückstand im Mais infolge der Verungrasung mit Hühnerhirse: links im Mai sowie rechts im August, Schaufläche LLA Bayreuth

Zur Ernte am 18.10.2017 wurden bei Mais die folgenden in Tabelle 7 dargestellten Trockenmasseerträge (TM-Ertrag) und Trockensubstanzgehalte (TS-Gehalt) ermittelt.

Tabelle 7: Ertragsdaten der Schaufläche LLA Bayreuth, n. a. = not available (nicht verfügbar)

Variante	Trockenmasseertrag Mais in dt/ha	Trockensubstanzgehalt in %
1 Pflanzung Silphie mit 2 Pfl/m ²	n. a.	n. a.
2 Pflanzung Silphie mit 4 Pfl/m ²	n. a.	n. a.
3 Reinsaat Silphie, Einzelkornsaat 25 Kö/m ²	n. a.	n. a.
4 Silphie unter Deckfrucht Mais, Einzelkornsaat 15 Kö/m ²	48	44
5 Silphie unter Deckfrucht Mais, Drillsaat 15 Kö/m ²	60	40
6 Silphie unter Deckfrucht Mais, Einzelkornsaat 25 Kö/m ²	78	42
7 Silphie unter Deckfrucht Mais, Drillsaat 25 Kö/m ²	100	42
8 Silphie unter Deckfrucht Mais, Einzelkornsaat 35 Kö/m ²	108	43
9 Silphie unter Deckfrucht Mais, Drillsaat 35 Kö/m ²	99	44
10 Silphie unter Deckfrucht Mais, Einzelkornsaat 25 Kö/m ² , keine Unkrautkontrolle	66	43



Abbildung 22: Silphie unter Deckfrucht Mais – links: Drillsaat, Mitte: Einzelkornsaat, rechts: Einzelkornsaat ohne Unkrautkontrolle, Schaufläche LLA Bayreuth

Unter Mais bildete die Silphie durchschnittlich nur sechs Blätter bei einer Wuchshöhe von knapp 15 cm aus. Tendenziell wurden bei einer geringeren Bestandesdichte der Silphie mehr Blätter und eine bessere Wuchshöhe erzielt. In der Variante ohne Unkrautkontrolle war die Entwicklung mit durchschnittlich vier Blättern und einer Höhe von 10 cm deutlich reduziert. In Reinkultur bildete Silphie durchschnittlich neun Blätter und eine Wuchshöhe von 20 cm aus, in der Saatvariante sogar 25 cm. In keiner Variante konnte die Silphie einen geschlossenen Bestand erzielen, wie in Abbildung 23 deutlich wird.



Abbildung 23: Silphie vor Winter – links: unter Deckfrucht Mais etabliert, Mitte: in Reinsaat, rechts: Pflanzung, Schaufläche LLA Bayreuth

In Bayreuth war es zur Saat 2017 optimal feucht gewesen, sodass der Auflauf im Frühsommer bereits nahezu vollständig war. Daher zeigten sich im Frühjahr 2018 die gleichen Bestandesdichten wie im Frühsommer des vorangegangenen Jahrs.



Abbildung 24: Blick über die Schaufläche an der LLA Bayreuth mit Distel- und Kamillenestern, 18.06.2018

Bereits im Jahr 2017 zeichnete sich das hohe Unkrautpotenzial auf dieser Fläche ab. Im Jahr 2018 wies die Schaufläche eine starke Verunkrautung, vor allem mit Disteln, aber auch Kamille und Franzosenkraut auf (Abbildung 24). Ein sinnvolles Ergebnis war bereits Mitte Juni nicht mehr zu erwarten, eine manuelle Bereinigung nicht durchführbar. Daher wurde entschieden, auf der Schaufläche eine Notbeerntung durchzuführen. Da die Verunkrautung jeden Effekt der Etablierungsvarianten überdeckte, wurde auf eine variantenscharfe Erfassung der Biomasseerträge verzichtet. Der zweite Aufwuchs danach war aufgrund des anhaltenden Wassermangels nicht mehr erntewürdig (Abbildung 25).



Abbildung 25: Blick über die Schaufläche an der LLA Bayreuth, erkennbar ist die unterschiedliche Verteilung der Silphie-Pflanzen in Abhängigkeit von Drill- oder Einzelkornsaat, 18.10.2018

Für die weitere Bewirtschaftung der Schaufläche wurde entschieden, den starken Distelbesatz durch den zweimaligen Einsatz einer Reihenfräse im Jahr 2019 zu bekämpfen. Am 10.04.2019 wurde der erste Reihenfräseinsatz durchgeführt, der zweite und letzte bei einer Wuchshöhe von bereits etwa 90 cm. Die Silphie neigte sich bei der Bearbeitung bereits kräftig (siehe Abbildung 26, links). Dieser späte Einsatz war allerdings gewünscht, um direkt im Anschluss Reihenschluss und damit Beschattung und Unkrautunterdrückung zu erreichen.

Beide Maßnahmen tilgten den schädlichen Unkrautwuchs für mehrere Wochen (siehe Abbildung 26, rechts). Zur Ernte hin war unter den Silphie-Pflanzen nur leichte Restverunkrautung festzustellen. Die Disteln wurden zu über 90 % reduziert, anderes Unkraut zu über 95 %.



Abbildung 26: Silphie-Bestand vor (links) und nach (rechts) dem Einsatz der Reihenfräse an der Schaufläche LLA Bayreuth, 29.05.2019

Diese sehr erfreuliche Wirkung der mechanischen Unkrautbekämpfung war auch an den Ertragswerten zu erkennen. Der durchschnittliche Trockenmasseertrag (TM-Ertrag) über alle Varianten mit Unkrautbekämpfung lag bei immerhin 65,7 dt/ha (265 dt Frischmasse mit 24,8 % Trockensubstanzgehalt), die stärkste Variante erreichte 78,4 dt TM/ha (315 dt Frischmasse mit 24,9 % TS). Die stark verunkrautete und schwach entwickelte Variante ohne Unkrautbekämpfung erbrachte hingegen nur 11,1 dt TM/ha (siehe Bestandsbild in Abbildung 27).

Die Einzelkornsaaten erzielten im Durchschnitt 60,8 dt TM/ha, die Drillsaaten 68,8 dt TM/ha. Dieser Wert ist besonders beachtenswert, da bei Drillsaat mit Reihenweite 14 cm kein Einsatz der Reihenfräse möglich war. Der – unter den Umständen am Standort Bayreuth – sehr gute Wert wurde vermutlich durch die bessere Unkrautunterdrückung durch den früheren Bestandsschluss bei engerer Reihe und besserer Standraumverteilung ermöglicht.



Abbildung 27: Silphie-Bestand der Variante „komplett ohne Unkrautbekämpfung“ auf der Schaufläche an der LLA Bayreuth direkt vor der Ernte, 24.09.2019

Ähnlich positiv zu sehen ist die Leistung der Reinsaat, die am Standort Bayreuth mit 72,5 dt TM/ha (289 dt Frischmasse mit 25,1 % TS) noch im zweiten Ertragsjahr die deutlich bessere Etablierung der Silphie ohne Deckfrucht widerspiegelte. Aus diesem Grund müssten auch die Pflanzungen ähnlich hohes Leistungsniveau haben wie die Reinsaat, diese fielen aber mit zunehmend geringerer Pflanzdichte ab: Die Etablierung mit vier Pflanzen/m² erzielte 68,9 dt TM/ha bei 24,8 % TS, während die mit zwei Pflanzen/m² etablierte

Variante nur 60,8 dt TM/ha und 24,3 % TS erbrachte. Vergleicht man dies mit der Ertragsentwicklung der unterschiedlichen Saaddichten, ist das Ergebnis der Pflanzungen nicht verwunderlich. Anscheinend hat die Pflanzendichte in den ersten Entwicklungsjahren doch einen deutlichen Einfluss auf die Ertragshöhe.

Durch zweimaliges Fräsen im Jahr 2019 konnte die Verunkrautung so stark verringert werden, dass der Einsatz der Reihenfräse im Jahr 2020 nicht unbedingt notwendig gewesen wäre (siehe Abbildung 28 und Abbildung 29). Der relativ späte Einsatz bei einer Wuchshöhe von 120 cm ist nicht unkritisch, da das Wurzelwerk der Silphie darunter leiden kann, er zeigte sich aber sehr ertragswirksam (siehe Tabelle 8, Seite 70).

Durch die höheren Niederschläge im Jahr 2020 waren in allen Varianten höhere Erträge zu verzeichnen, zum Teil sogar deutlich. Die gefrästen Varianten erreichten im Vergleich zum Vorjahr im Mittel 39 dt TM/ha mehr, während die nicht gefrästen Varianten einen Ertragszuwachs von durchschnittlich 57 dt TM/ha erzielen konnten.



Abbildung 28: Bestand Reinkultursaat im Einzelkornverfahren mit 25 Kö/m² vor dem Fräsen

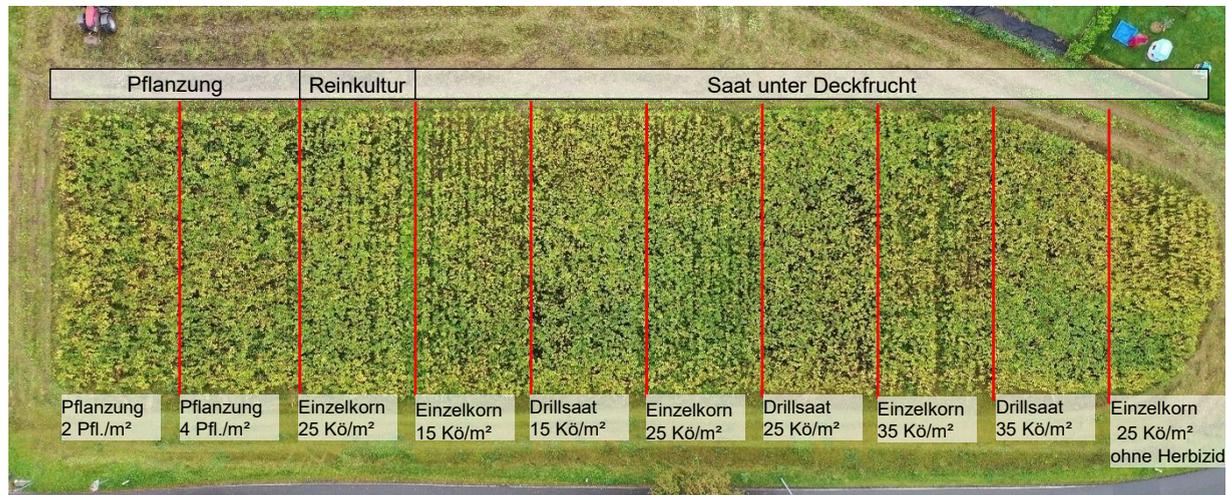


Abbildung 29: Versuchsfeld vor der Beerntung im Jahr 2020, Beerntung wurde als Kernbeerntung durchgeführt und die Ernteflächen vermessen

Im Mittel erbrachten höhere Aussaatdichten höhere Erträge, wobei hier nur die Untersaatvarianten untereinander verglichen wurden. Die Varianten mit 15 Körnern/m² erbrachten im Mittel einen Ertrag von 102,5 dt TM/ha, die Varianten mit 25 Körnern/m² und 35 Körnern/m² erzielten 107,8 dt TM/ha und 109,5 dt TM/ha. Bei Betrachtung der Einzelwerte bestätigte sich dieser Trend für die Drillsaat, aber nicht für die Einzelkornsaat. Es lässt sich vermuten, dass der geringe Abstand in der Reihe bei Einzelkornsaat mit 35 Körnern/m² nichts mehr mit einem optimalen Standraum zu tun hatte und daher nicht mehr den Ertragszuwachs zeigte, der bei linearer Abhängigkeit zu erwarten wäre. Bei den Pflanzungen lag der Ertrag der Variante mit vier Pflanzen/m² mit 121 dt TM/ha deutlich über dem der Variante mit zwei Pflanzen/m² mit 101 dt TM/ha, der Ertragsunterschied zwischen den beiden Varianten war damit noch einmal höher als im Vorjahr.

Die Drillsaat hatte einen durchschnittlichen Ertrag von 126,0 dt TM/ha und erwies sich damit gegenüber der Einzelkornsaat mit einem durchschnittlichen Ertrag von 95,4 dt TM/ha als vorteilhaft.

Die Etablierungsvariante ohne Unkrautkontrolle erreichte in diesem Jahr immerhin 78 dt TM/ha, was eine enorme Steigerung im Vergleich zum Vorjahr darstellt (Tabelle 8, Seite 70). Das weist darauf hin, dass sich die Silphie im Lauf der Zeit doch durchsetzen kann. Um die für eine ausreichende Wirtschaftlichkeit notwendigen guten Bestände rasch zu erreichen, ist dies aber in keinem Fall eine Option.

Das schwache Abschneiden der Saat in Reinkultur muss der Distel zur Last gelegt werden, da diese Variante unglücklicherweise den mit Abstand höchsten Distelbesatz aufwies. Die üblicherweise deutlichen Mehrerträge einer Reinkultur im ersten und zweiten Ertragsjahr konnten daher in Bayreuth nicht beobachtet werden.

Im Jahr 2021 war die Notwendigkeit einer Unkrautbekämpfung nicht mehr dringend gegeben. Es wuchs rasch ein dichter und bis 3,5 m hoher Bestand auf, der kaum noch was von den anfänglichen Problemen erkennen ließ (siehe Abbildung 30 und Abbildung 31).

Da bei einem Schauversuch die Varianten in großflächigen Streifen ohne Wiederholung und Randomisierung angelegt werden, können die Unterschiede resultierend aus der Lage des jeweiligen Streifens nicht von den Effekten der Variante getrennt werden. Wegen der hier beobachteten starken Lage-Unterschiede ist der einzelne Ertragswert daher nur eingeschränkt aussagekräftig.

Trotz des, augenscheinlich, sehr guten Bestands konnte das Ertragsniveau von 2020 nicht erreicht werden. Die Ursachen hierfür dürften die zunehmende Vergrasung und das niederschlagsreiche, kühle und strahlungsarme Wetter sein. Das Gras war im lange Zeit kalten Frühjahr sehr konkurrenzkräftig und die Auswirkungen des kühlen Sommers, mit Ausnahme des Junis, waren während der Vegetationszeit an einer ca. zwei Wochen verspäteten Entwicklung zu beobachten.

Bei der Beerntung am 14.09.2021 wurde ein Durchschnittsertrag von 82,6 dt TM/ha erzielt. Im Jahr 2020 konnten 107,7 dt TM/ha geerntet werden.

Vergleicht man die Pflanzvarianten mit den Saatvarianten, ist kein Vorteil für die teurere Pflanzung erkennbar. Die Aussaat ist bereits der Standard in der Praxis und hat die Pflanzung vollständig verdrängt. Die dünnere Pflanzdichte zur Kostenreduzierung, mit nur zwei Pflanzen je Quadratmeter, ist im Vergleich mit den Saatvarianten unrentabel und auch ertragsschwächer.



Abbildung 30: Blick über die Schaufläche an der LLA Bayreuth am 07.07.2021

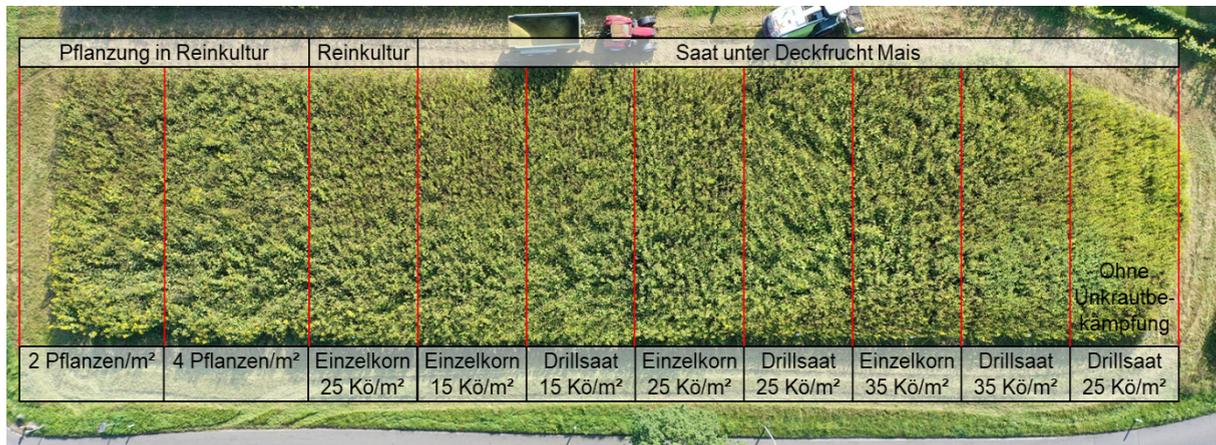


Abbildung 31: Versuchsfeld vor der Beerntung am 14.09.2021

Betrachtet man die Werte aus Tabelle 8 der Varianten mit der Anlage in Reinkultur (Pflanzung mit 2 Pfl/m² und 4 Pfl/m², Reinsaat mit 25 Kö/m²), so schneiden diese Varianten, wenn die Erträge gemittelt werden, im Vergleich mit den gemittelten Erträgen der in Untersaat etablierten Varianten und den anderen Standorten im Projekt schlechter ab. Die Ursache hierfür ist wohl, dass sich an diesem Standort Unkraut in der zweiten Jahreshälfte des ersten Standjahrs stark ausbreiten konnte und im Folgejahr dann überhandnahm, da bei der hohen Reihenweite von 75 cm lange keine vollständige Bodenbedeckung erreicht wurde. Die ansonsten stärkere Entwicklung bei der Etablierung ohne Deckfrucht in trockenen Jahren war damit vertan.

Tabelle 8: Trockenmasseerträge des Etablierungsversuchs in Bayreuth für die Versuchsjahre 2019, 2020 und 2021

Verfahren	Silphie-Aussaatstärke	TM-Erträge in dt/ha			
		Jahr	2019	2020	2021
Pflanzung	2 Pfl/m ²		61	101	81
Pflanzung	4 Pfl/m ²		69	121	111
Reinsaat	25 Kö/m ² Einzelkornsaat		73	117	95
Deckfrucht Mais	15 Kö/m ² Drillsaat		57	112	94
Deckfrucht Mais	15 Kö/m ² Einzelkornsaat		54	93	88
Deckfrucht Mais	25 Kö/m ² Drillsaat		78	135	110
Deckfrucht Mais	25 Kö/m ² Einzelkornsaat		59	101	96
Deckfrucht Mais	35 Kö/m ² Drillsaat		71	131	99
Deckfrucht Mais	35 Kö/m ² Einzelkornsaat		69	88	104
Deckfrucht Mais	25 Kö/m ² Einzelkornsaat ohne Unkrautbekämpfung		11	78	48

Bei der Etablierung unter Deckfrucht Mais schneiden in Bayreuth nach wie vor die Varianten in Drillsaat besser ab als die Einzelkornansaaten. Auch dies muss auf den hohen Unkrautdruck zurückgeführt werden. Durch den engeren Reihenabstand in Drillsaat schloss der Silphie-Bestand deutlich früher die Reihen und nahm dem Unkraut das Licht. Die einmalige Herbizidbehandlung mit Stomp SC im Anlagejahr war damit gerade noch ausreichend, der Silphie genügend Vorsprung einzuräumen, um das Unkraut zu unterdrücken.

Die dünneren Saaten mit nur 15 Körnern/m² haben immer noch nicht die Leistung der Saaten mit Kornzahlen von 25 oder 35 Körnern/m². Wiederholt ist die Ursache in der Verunkrautung zu suchen, denn auch dünne Silphie-Bestände haben ähnliche Etablierungsprobleme wie Bestände mit großer Reihenweite. Bei anhaltend gutem Unkrautmanagement ist aber erkennbar, dass diese Varianten aufschließen und in den nächsten Jahren ein vergleichbares Ertragspotenzial erbringen können.

Die Variante ohne jegliche Unkrautbekämpfung zeigte mit Abstand weiterhin den schlechtesten Ertrag. Dies widerspiegelt das hohe Risiko, die Bekämpfung der Verunkrautung zu vernachlässigen. Sicherlich ist der hohe Reihenabstand von 75 cm hauptverantwortlich für das schlechte Ergebnis. Die an sich gute Unkrautunterdrückung der Silphie kann sich aber erst entfalten, wenn der Bestand ausreichend entwickelt ist, was mit starker Unkrautkonkurrenz ohne Bekämpfung meist nicht möglich ist.

Letztendlich ist erkennbar, dass sich die einzelnen Varianten in ihrer Leistung zunehmend annähern und das standorttypische Optimum erreichen. Es ist damit zu rechnen, dass in den folgenden Jahren die Unterschiede nur noch die Standortschwankungen innerhalb der Fläche widerspiegeln.

Auf Wunsch der LLA Bayreuth wird diese Fläche nicht wie ursprünglich vorgesehen im Projektzeitraum rekultiviert, da auf diesem vergleichsweisen kleinen Schlag und in unmittelbarer Nähe zu Wohnbebauung keine normale Ackerbewirtschaftung mit einer Fruchtfolge angestrebt wird.

4.2.2 Schauffläche Windischgailenreuth (Saattechniken und Ansaatdichten)

Am 11.05.2017 erfolgte die Aussaat der Varianten 2 bis 9 unter guten Bedingungen (Abbildung 32). Zuerst erfolgte die Maissaat mit Kalkammonsalpeter als Unterfußdüngung (54 kg N/ha), danach ein Walzgang, um einen flacheren Saathorizont und ein feinkrümeligeres Saatbett zu erhalten. Danach folgte die Einsaat der Silphie mit einer Ablagetiefe von ca. 1 cm. Es wurde die Sorte Geoxx Duo bei Mais (Saatedichte sechs Körner je m²) und Silphie-Saatgut von Metzler und Brodmann GmbH verwendet. Für die Einzelkornsaat wurde ein Gerät von Gaspardo mit V-Walkgumminachlaufrollen verwendet, für die Drillsaat stand ein direktsaatfähiges Gerät der Firma Von der Landwehr zur Verfügung, das mit einem schräglaufenden Sech eine schmale Saatrille in den Boden schneidet, die durch eine konische Nachlaufrolle wieder zugeedrückt wird (siehe Abbildung 33 und Abbildung 34). Die Tiefenablage funktionierte mit beiden Geräten ausreichend flach, die mäßigen Feldaufgangswerte zeugen allerdings von einer suboptimalen Einbettung bei zu feuchtem Saatbett und nachfolgend langer Trockenheit.



Abbildung 32: Links: Einzelkorn-, rechts: Drillsägerät, Schaufläche Windischgailenreuth



Abbildung 33: Zur Silphie-Saat verwendete Geräte – links: Einzelkorn-, rechts: direkt-saattaugliches Drillsägerät, Schaufläche Windischgailenreuth



Abbildung 34: Erreichte Einbettung des Silphie-Saatguts – links: Ablage mit Einzelkorn-, rechts: mit Drillsägerät, Schaufläche Windischgailenreuth

Am 27.06.2017 wurden bei den Varianten 2 bis 9 und am 25.08.2017 bei der Variante 1 die Bestandesdichten mit dem in Tabelle 9 dargestellten Ergebnis ausgezählt.

Tabelle 9: Bestandesdichte der Schauffläche Windischgailenreuth, n. a. = not available (nicht verfügbar)

Variante	Bestandes- dichte Mais in Pfl/m ²	Bestandes- dichte Silphie in Pfl/m ²	Feldaufgang Mais in %	Feldaufgang Silphie in %
1 Reinsaat Silphie, Drillsaat 25 Kö/m ² , nach GPS	n. a.	10,0	n. a.	40
2 Silphie unter Deckfrucht Mais, Drillsaat 15 Kö/m ²	6,4	3,2	107	22
3 Silphie unter Deckfrucht Mais, Einzelkornsaat 15 Kö/m ²	6,4	5,3	107	35
4 Silphie unter Deckfrucht Mais, Einzelkornsaat 25 Kö/m ²	6,6	7,9	110	31
5 Silphie unter Deckfrucht Mais, Drillsaat 25 Kö/m ²	6,1	6,3	101	25
6 Silphie unter Deckfrucht Mais, Einzelkornsaat 35 Kö/m ²	6,1	9,1	101	26
7 Silphie unter Deckfrucht Mais, Drillsaat 35 Kö/m ²	6,2	5,8	103	17
8 Reinsaat Silphie, Einzel- kornsaat 25 Kö/m ²	n. a.	6,8	n. a.	27
9 Reinsaat Silphie, Drillsaat 25 Kö/m ²	n. a.	6,1	n. a.	24

Die Silphie entwickelte sich am Standort Windischgailenreuth in allen Varianten sehr gut, trotz über sechs Wochen ausbleibender Niederschläge nach der Saat. Auch der Mais entwickelte sich kräftig und lag in der Region im Ertrag über dem langjährigen Mittel. Zur Ernte am 18.10.2017 wurden für den Mais die in Tabelle 10 (Seite 80) dargestellten Trockenmasseerträge ermittelt. Dabei muss beachtet werden, dass in Variante 7 (Silphie unter Deckfrucht Mais, Drillsaat 35 Kö/m²) wegen eines gravierenden Schadens durch Wildschweine keine Ertragsermittlung durchgeführt wurde. Auch Variante 6 (Silphie unter Deckfrucht Mais, Einzelkornsaat 35 Kö/m²) war durch Wildschweine geschädigt.

Unter Mais bildete die Silphie durchschnittlich neun Blätter bei einer Wuchshöhe von knapp 30 cm aus. Tendenziell waren bei einer geringeren Bestandesdichte der Silphie mehr Blätter zu beobachten. Selbst die Saat nach GPS-Aberntung, ohne Deckfrucht Mais, erreichte durchschnittlich neun Blätter bei einer Wuchshöhe von 25 cm. In den Reinkultur-

varianten bildete Silphie durchschnittlich zwölf Blätter aus und erzielte eine Wuchshöhe von 40 cm.

Bei allen Drillsaatvarianten hatte die Silphie den Bestandsschluss erreicht. Bei Variante 9 war dies bereits Ende August zu beobachten; bis Oktober legte die Silphie aber noch kräftig zu. Bei Einzelkornsaat schloss die Silphie nur in Reinkultur, unter Deckfrucht begannen sich nur vereinzelt die Blattspitzen zu berühren (siehe Abbildung 35 bis Abbildung 38).



Abbildung 35: Silphie-Etablierung per Drillsaat – links: im August unter Deckfrucht Mais, rechts: nach Maisernte, Schaufläche Windischgailenreuth



Abbildung 36: Silphie-Etablierung per Einzelkornsaat – links: im August unter Deckfrucht Mais, rechts: nach Maisernte, Schaufläche Windischgailenreuth



Abbildung 37: Silphie-Etablierung in Reinsaat per Einzelkornsaat – links: im August, rechts: im Oktober, Schaufläche Windischgaillenreuth



Abbildung 38: Silphie-Etablierung in Reinsaat per Drillsaat nach Ganzpflanzen-Vorfrucht – links: im August, rechts: im Oktober, Schaufläche Windischgaillenreuth

In Windischgaillenreuth waren die nach Winter 2017/18 festgestellten Bestandesdichten etwas höher als Ende Juni des Vorjahrs. Die Ursache dafür liegt in der Trockenheit nach der Saat, die nicht alle Samen früh keimen ließ. Durch die kräftigen Regenfälle ab Anfang Juli 2017 konnten dann im Sommer über einen großen Zeitraum wiederholt Nachaufläufer festgestellt werden.

Bereits Ende April war zu erkennen, dass die Reinsaaten deutlich kräftiger austrieben und loswachsen konnten als die Ansaaten unter Deckfrucht. Dies galt selbst für die relativ spät gesäte Silphie nach einer Getreide-GPS, in Windischgaillenreuth gesät am 01.07.2017 gegenüber dem normalen Termin am 08.05.2017. Anfang Juni hatten die frühen Reinsaaten gegenüber den Saaten mit Deckfrucht neben deutlich mehr Pflanzenmasse einen Längenvorsprung von ca. 30 cm (siehe Abbildung 39). Die Saat nach Getreide-GPS war zwar üppiger im Bestand, aber längenmäßig kaum im Vorteil.

Bei der Ernte am 20.08.2018 bestätigten sich die Beobachtungen: Die höchsten Erträge wurden in den Reinsaaten mit 116 und 106 dt TM/ha festgestellt, die Reinsaat nach GPS lag bei guten 84 dt TM/ha (siehe Tabelle 10, Seite 80). Die Saaten unter Deckfrucht erreichten bei einer Saatedichte von 35 Körnern Silphie je Quadratmeter 85 dt TM/ha, bei 25 Körnern 63 und bei 15 Körnern 59 dt TM/ha (jeweils gemittelt über die Saattechnik). In der Tendenz war die Drillsaat der Einzelkornsaat immer etwas unterlegen, sie hatte auch geringeren Feldaufgänge und damit geringere Bestandesdichten der Silphie zur Folge.



Abbildung 39: Blick über die Schaufläche Windischgailenreuth, der Längenvorsprung der im oberen Feldstück gelegenen Reinsaatvarianten ist deutlich zu erkennen, 06.06.2018

Am Standort Windischgailenreuth konnten im Jahr 2019 durchschnittlich 127 dt TM/ha geerntet werden (485 dt FM/ha mit 26,3 % TS). Der Spitzenwert mit 148 dt TM/ha (563 dt FM/ha mit 26,2 % TS) wurde von der Variante Reinsaat (Drillsaat) mit 25 Körnern/m² nach Getreide-GPS erreicht. Die Anlage in Reinkultur konnte im Jahr 2019 nur mehr einen geringen Vorsprung von 128 zu 124 dt TM/ha für die Varianten unter Deckfrucht verwirklichen (474 dt FM/ha mit 27,0 % TS zu 475 dt FM/ha mit 26,0 % TS).



Abbildung 40: Blick über die Schaufläche Windischgailenreuth, 29.05.2019

Auch die Saatedichte der Silphie zeigte keinen einheitlichen Einfluss mehr auf den Ertrag (siehe Abbildung 40). Die Varianten mit geringerer Saatedichte lagen tendenziell sogar höher

her, was vor allem dem höheren Ertrag bei der Drillsaat zuzuschreiben war, während über alle Varianten eher die Einzelkornsaat einen leichten Ertragsvorsprung aufwies. Die Einzelwerte differierten jedoch stark, sodass kaum eine klare Aussage möglich ist. Insgesamt zeigte sich der gesamte Bestand über das ganze Jahr sehr gleichmäßig und erscheint damit voll etabliert. Leider existieren wegen eines technischen Defekts der Drohne nur wenige Bilder von der Versuchsfläche zur Ernte (Abbildung 41).



Abbildung 41: Blick per Drohne über die Schaufläche Windischgailenreuth, 31.08.2019

Am Standort Windischgailenreuth schienen im Jahr 2020 alle Varianten nahezu voll etabliert zu sein und waren im Ertragsniveau vergleichbar mit dem Jahr 2019 (Abbildung 42). Die Reinkultursaat nach Getreide-GPS mit Aussaat im Juli 2017 zeigte auch dieses Jahr wieder den mit Abstand höchsten Ertrag. Sicherlich waren die Aussaatbedingungen dieser Variante durch Niederschläge unmittelbar nach der Saat besser, in diesem Streifen muss aber auch mit besseren Bedingungen durch Auflandung am Fuß des Hangs vor der Straße gerechnet werden.

Die Reinsaatvarianten erzielten mit 134,8 dt TM/ha an diesem Standort höhere Erträge als die Untersaatvarianten mit 125 dt TM/ha. Der Unterschied relativiert sich allerdings bei Betrachtung der Erträge der einzelnen Varianten, da die Erträge der Einzelkorn-Untersaatvarianten fast an die Erträge der Reinsaatvarianten herankommen (Tabelle 10, Seite 80). Hier ist im Vergleich zu den Varianten, die unter Deckfrucht Mais etabliert wurden, eigentlich kaum ein Ertragsvorsprung der Reinkulturvarianten mehr erkennbar.

Auch am Standort Windischgailenreuth lagen, bei Betrachtung der Untersaatvarianten, die Erträge im Mittel der Einzelkornsaatvarianten mit 134,7 dt TM/ha deutlich höher als die Erträge der Drillsaatvarianten mit 115,4 dt TM/ha. Bei der Reinsaatvariante lagen die Er-

träge der Einzelkornsaaatvariante mit 133,8 dt TM/ha ebenfalls über denen der Drillsaatvariante mit 123,2 dt TM/ha.

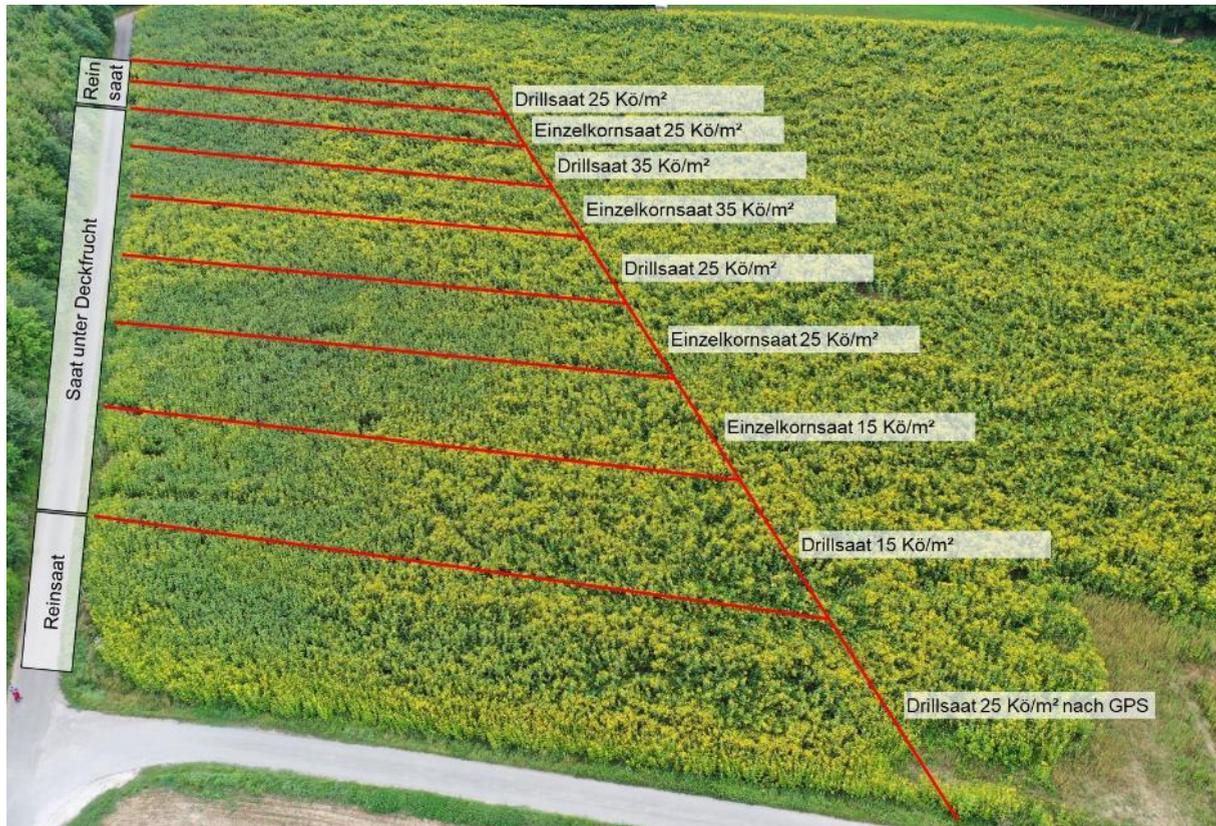


Abbildung 42: Versuchsfläche Etablierungsversuch in Windischgailenreuth, 07.07.2020

Die Ergebnisse der verschiedenen Saardichten (etabliert in Untersaar) zeigten keinen Ertragszuwachs bei Saardichten über 25 Körnern/m². Die Varianten mit 25 Körnern/m² erzielten im Mittel 134,8 dt TM/ha, die 35 Körner/m²-Varianten erreichten 123,6 dt TM/ha und die 15-Körner/m²-Varianten 116,7 dt TM/ha. Aufgrund der hohen Kosten von Silphie-Saatgut erscheint eine Aussaatstärke von 35 Körner/m² nach dieser Datenlage nicht sinnvoll.

Am Standort Windischgailenreuth wurde im Jahr 2021 der Ertrag des Vorjahrs nicht erreicht. Während im Jahr 2020 durchschnittlich 128 dt/ha Trockenmasse geerntet werden konnten, waren es 2021 nur 121 dt TM/ha. Der Ertragsrückgang muss hier ausschließlich dem niederschlagsreichen, kühlen und strahlungsarmen Jahr zugeschrieben werden (siehe Tabelle 10, Seite 80).

Während bislang die mittels Einzelkornsaaatverfahren etablierten Varianten tendenziell etwas bessere Erträge brachten, war dies in diesem Jahr nicht mehr zu beobachten (siehe Abbildung 43). Auch an diesem Standort hatten die dünneren Silphie-Saaten mit nur 15 Körnern je Quadratmeter noch einen Ertragsnachteil. Im Gegensatz zum vergangenen Jahr waren die Reinsaaten wieder ertragsstärker. Die Variante mit Silphie nach Getreide-

GPS war im Gegensatz zu den anderen Jahren in diesem Jahr die deutlich schwächste Variante. In den trockeneren Vorjahren konnte diese Variante von der günstigen Lage am Hangfuß profitieren.



Abbildung 43: Versuchsfläche Etablierungsversuch in Windischgaillenreuth, 14.08.2021

Es muss davon ausgegangen werden, dass sich alle Varianten zunehmend im standort-spezifischen Optimum befinden. Das Anlageverfahren schlägt sich nur mehr wenig merklich im Ertrag nieder, da sich der Bestand zunehmend auf die lokalen, zum Teil auch kleinräumigen Umwelteinflüsse ausrichtet. So ist der erstaunlich hohe Ertrag der Varianten in Reinsaat in diesem Maße nicht allein durch das Anlageverfahren erklärbar. Des Weiteren ist der starke Abfall der Variante nach Getreide-GPS nicht erklärbar und es muss gemutmaßt werden, dass dies mit zeitweise zu starker Vernässung am Hangfuß zusammenhängt. Damit ist die Aussagekraft hinsichtlich der angelegten Varianten dieser Versuchsfläche nach fünf Jahren erschöpft. Aus diesem Grund wurde beschlossen, in den kommenden Jahren auf die sehr aufwendige getrennte Beerntung und Verwiegung der Varianten zu verzichten.

Am Standort Windischgaillenreuth herrscht ein enormer Druck durch Wildschweine vor, wie in Abbildung 44 zu sehen ist. Es konnten aber bislang in keinem Jahr nennenswerte Schäden durch Wildschweine beobachtet werden. Die Silphie wird nicht gefressen und die Wildschweine bewegen sich durch den dichten Bestand ohne Pflanzen niederzutreten oder abzubrechen.

Tabelle 10: *Trockenmasseerträge in dt TM/ha des Etablierungsversuchs in Windischgailenreuth für die Versuchsjahre 2017 bis 2021, RS = Reinsaat, DF = Deckfrucht, DS = Drillsaat, ES = Einzelkornsaat, n. a. = not available (nicht verfügbar)*

Variante	Silphie-Saatstärke	Ertrag 2017	Ertrag 2018	Ertrag 2019	Ertrag 2020	Ertrag 2021
RS nach GPS-Getr.	25 Kö/m ² DS	n. a.	84	148	147	102
DF Mais	15 Kö/m ² DS	156	54	128	117	110
DF Mais	15 Kö/m ² ES	140	63	123	116	117
DF Mais	25 Kö/m ² DS	165	63	113	128	121
DF Mais	25 Kö/m ² ES	133	63	132	142	123
DF Mais	35 Kö/m ² DS	n. a.	78	119	101	129
DF Mais	35 Kö/m ² ES	128	93	126	146	118
RS	25 Kö/m ² DS	n. a.	106	127	123	133
RS	25 Kö/m ² ES	n. a.	116	128	134	135



Abbildung 44: *Wildschweine flüchten aus der Silphie, insgesamt befanden sich zur Ernte 25 Wildschweine auf der Fläche*

4.2.3 Schaufläche Speichersdorf (Pflanzdichten)

Am 03.07.2017 wurde durch Auszählung eine Anwachsrate von 93 bis 99 % ermittelt und damit der Erfolg des Pflanzvorgangs bestätigt. Nach gutem Anwuchserfolg und deutlich sichtbarem Unterschied im Pflanzenbestand (siehe Abbildung 45) im Jahr 2018 wurde für diese Fläche die Begleitung der Beerntung zur getrennten Ertragerfassung für die beiden Varianten vorbereitet. Leider wurde trotz Aufforderung nicht vorab mitgeteilt, für wann die Ernte geplant wurde, sodass keine Begleitung und damit variantenscharfe Datenerfassung im Jahr 2018 erfolgen konnte.



Abbildung 45: Blick über einen Teil der Schaufläche Speichersdorf, von links einige Reihen mit vier Silphie-Pflanzen/m², dann mit zwei Silphie-Pflanzen/m² und danach wieder mit vier Silphie-Pflanzen/m², 18.06.2018

Im Jahr 2019 erreichte der Silphie-Bestand Wuchshöhen zwischen 130 und 250 cm. In Variante 1 wurde ein Frischmasseertrag von 255,5 dt/ha mit 28,4 % TS-Gehalt (entspricht einem TM-Ertrag von 72,6 dt/ha) erreicht, bei der Pflanzdichte von zwei Pflanzen/m² war es mit 247,0 dt FM/ha bei 28,2 % TS (entspricht einem TTM-Ertrag von 69,7 dt/ha) nur geringfügig weniger.

Damit zeichnete sich am Standort Speichersdorf auch der Trend ab, dass dünnere Bestände in den ersten Jahren bis zur vollen Etablierung einen leicht geringeren Ertrag erbringen. Im Lauf der Zeit kräftigen sich die Pflanzen aber erheblich und auch in lückigen Beständen werden durch vereinzelt Samenabfall die Lücken zunehmend geschlossen, allerdings nur, sofern kein nennenswerter Unkrauteinfluss auftritt. Es bestätigt sich also, dass ein dünnerer, mit zwei Pflanzen/m² gepflanzter Bestand durchaus ausreichend und wirtschaftlich ist. Die relativ geringen Ertragseinbußen stehen in einem sehr guten Verhältnis zu den eingesparten Pflanzkosten.

Die Schaufläche Speichersdorf wurde auch im Jahr 2020 wieder getrennt für die beiden dort getesteten Pflanzdichten (Variante 1 mit vier Silphie-Pflanzen/m²; Variante 2 mit nur zwei Silphie-Pflanzen/m², siehe auch Abbildung 46) beerntet.



Abbildung 46: Schaufläche Speichersdorf mit verschiedenen Pflanzdichten der Silphie, 07.07.2020

Wie schon 2019 war auch dieses Jahr wieder bei der höheren Bestandesdichte der höhere Ertrag von 86,7 dt TM/ha gegenüber 78,6 dt TM/ha bei der geringeren Bestandesdichte feststellbar. Im Vergleich zu den Werten aus 2019 mit 72,6 und 69,7 dt TM/ha wurde auch auf dieser Fläche ein deutlicher Ertragszuwachs, aufgrund der höheren Niederschläge, erzielt. Der zunehmende Abstand zwischen den beiden Bestandesdichten lässt jedoch vermuten, dass dünne Bestände doch etwas länger brauchen, bis sie die volle Ertragsleistung erbringen können. Diese Tendenz zeigte sich ebenso in den Streifenversuchen in Bayreuth und Windischgailenreuth. Berücksichtigt man die Kosteneinsparung beim Pflanzgut, mag die dünnere Pflanzdichte dennoch wirtschaftlicher sein. In früheren Jahren, in denen das Saatverfahren noch zu unsicher war, war dies unter Umständen die richtige Wahl.

Im Jahr 2021 waren die Unterschiede in der Blattdichte jedoch gering und kein Unkrautdurchwuchs mehr erkennbar (siehe Abbildung 47).



Abbildung 47: Schaufläche Speichersdorf mit verschiedenen Pflanzdichten der Silphie, 06.07.2021

Die Ertragswerte des Standorts wurden in Tabelle 11 zusammengefasst. Im Jahr 2019 hatte die Variante mit dünnerer Pflanzdichte nur einen Nachteil von 2,9 dt TM/ha. Dieses Jahr war noch stark von der Trockenheit geprägt, womit die dünneren Pflanzenbestände anscheinend besser zurechtkamen. Unter ausreichend Niederschlägen wie im Jahr 2020 konnte die Variante mit höherer Pflanzdichte einen Ertragsvorsprung mit 8,1 dt TM/ha deutlich machen.

Tabelle 11: Ertragswerte der Schaufläche am Standort Speichersdorf in den Jahren 2019, 2020 und 2021

Verfahren	Silphie-Pflanzstärke	Ertrag 2019 in dt TM/ha	Ertrag 2020 in dt TM/ha	Ertrag 2021 in dt TM/ha
Pflanzung	2 Pfl/m ²	69,7	78,6	111,4
Pflanzung	4 Pfl/m ²	72,6	86,7	114,0

Dennoch stärkten sich die Pflanzen im Streifen mit der dünneren Pflanzdichte offensichtlich, denn im Jahr 2021 hatten sie nur noch einen Rückstand von 2,6 dt TM/ha auf die Variante, die mit normaler Pflanzdichte etabliert worden war.

Auch hier zeigte sich also, dass im Lauf der Jahre ausreichend gute und gepflegte Bestände sich dem standorttypischen Optimum annähern und produktionsbedingte Unterschiede an Einfluss verlieren. Mit dieser Schaufläche konnte zusätzlich belegt werden, dass selbst dünne Bestände mit nur zwei Pflanzen je Quadratmeter langfristig keinen großen Nachteil haben, sofern eine gleichmäßige Pflanzenverteilung vorliegt, kein hoher Unkrautdruck existiert und eine gute Pflege erfolgt.

4.2.4 Schaufläche Brunn (Waldrandeinfluss)

Am 09.06.2017 wurden Bestandsauszählungen durchgeführt, die bei Silphie für den Bereich ohne Waldschatten eine Bestandesdichte von 10,5 (entspricht einem Feldaufgang von 44 %), für den Bereich Waldschatten eine Bestandesdichte von 10,3 (entspricht einem Feldaufgang von 43 %) und für den Bereich unmittelbarer Waldrand eine Bestandesdichte von 12,2 (entspricht einem Feldaufgang von 51 %) ergaben. Bei Mais ergaben sich in dieser Reihenfolge Bestandesdichten und Feldaufgänge von 5,0 (83 %), 4,4 (73 %) und 2,0 (34 %). Ein analoger Sachverhalt zeigte sich bei einer Fläche in Pegnitz-Unterpreuschwitz. Der Feldaufgang bei Mais fiel zum Waldrand hin von 64 auf 34 % ab, der von Silphie stieg von 32 auf 47 %. Diese Ergebnisse zeigen den förderlichen Einfluss der länger bestehenden Feuchtigkeit im Waldschatten auf den Feldaufgang der Silphie.

Zur Ernte hingegen zeigten die Silphie-Pflanzen ohne Waldschatteneinfluss eine sehr gute Entwicklung mit sich schließendem Bestand. Die Silphie-Pflanzen am Waldrand hatten hingegen nur zwei Drittel der Blätter und nur ein Drittel der Biomasse (siehe Abbildung 48). Der erste Eindruck förderlicher Bedingungen wurde also von der weiteren Bestandsentwicklung zunichte gemacht. Der Mais erzielte einen Ertrag von 157 dt TM/ha mit 33,8 % TS-Gehalt im vom Waldschatten unbeeinflussten Bereich und 96 dt TM/ha bei 29,0 % TS im Waldschatten.



Abbildung 48: Silphie-Bestand nach Ernte, Deckfrucht Mais, Schaufläche Brunn, Fotos von Graf, AELF Bayreuth

Wie in Abbildung 49 (links) zu sehen wurde aufgrund des Bestands mit einem Ertragseffekt im Jahr 2018 gerechnet, der durch die getrennte Verwiegung des Streifens nahe am Waldrand erfasst werden sollte. In diesem Jahr unterblieb die getrennte Beerntung leider in der Erntehektik, sodass aufschlussreiche Daten bezüglich Wasserentzugs durch den angrenzenden Wald nicht gewonnen werden konnten.

Bei der weiteren Entwicklung zeigte sich aber doch der erste negative Einfluss durch fehlendes Licht, eventuell auch Wasser. Der beschriebene Effekt der Förderung der Silphie-Etablierung durch die Waldnähe hatte sich nun – wahrscheinlich durch Beschattung/fehlende Einstrahlung und ggf. Konkurrenz um das wenige verfügbare Wasser – umgedreht. 2019 wurde wieder getrennt beerntet. Auf einem vom Wald her 13 m breiten Streifen wurde ein Ertrag von 68,0 dt TM/ha (280 dt FM/ha mit 24,3 % TS) ermittelt, auf der 27 m breiten Restfläche ohne nennenswerten Schattenwurf hingegen 91,0 dt TM/ha (350 dt/ha FM mit 24,3 % TS). Damit ergaben sich unter Waldschatten Ertragseinbußen von 25 %.

Andererseits war im Jahr 2019 bei vielen Landwirten erneut zu beobachten, dass weniger Hitze und Verdunstung in Waldnähe anscheinend halfen, üppigere und grünere Bestände zu bilden. Waldrandlagen sind also – wenngleich auf Dauer ertragsschwächer – für den Anbau von Silphie nicht zu vernachlässigen. Auch Schwarzwildschäden in Silphie sind sehr gering, da die Tiere unter dem Blätterdach zwar Deckung finden, aber keine Fraßschäden an den Pflanzen verursachten. Mais in Waldrandlage zeigte sich hier wesentlich stärker beeinträchtigt.

Im Jahr 2020 (Abbildung 49, rechts) war, trotz dringlicher Bitten, wiederum kein Entgegenkommen des Betriebsleiters vorhanden und die Fläche wurde kurzerhand ohne Differenzierung beerntet, mit einem Gesamtertrag von 109,9 dt TM/ha.



Abbildung 49: Waldrandeffekt auf der Schauffläche Brunn – links: 2018, rechts: 2020

Im Jahr 2021 wurde zwar getrennt erfasst, aber nicht exakt ausgemessen, daher sind die Werte nur bedingt aussagekräftig. Vom Landwirt wurden für das Flächendrittel am Wald 64,9 dt TM/ha bei 19,2 % TS-Gehalt und für die restlichen zwei Drittel 122,3 dt TM/ha bei 17,1 % TS-Gehalt angegeben. Der Durchschnitt der Fläche lag damit bei 104,9 dt TM/ha.



Abbildung 50: Schaufläche Brunn, 07.07.2021

Da der Waldstreifen im Süden der Fläche liegt (Abbildung 50) kann aufgrund des feuchten und kalten Jahrs auch davon ausgegangen werden, dass sich der negative Waldrandeffekt stärker auswirkte. Allen Beobachtungen nach reagierte der Mais empfindlicher auf Beschattung als Silphie und ist auch aufgrund der Wildschweinproblematik nicht als an Wald angrenzende Kultur zu empfehlen.

4.2.5 Schaufläche Lessau (Verfahren zur Unkrautkontrolle)

Am 09.06.2017 wurde auf der Fläche in Lessau der Feldaufgang ausgezählt. Bei 4,7 Maispflanzen je m² ergab sich ein Feldaufgang von nur 80 %. Die Silphie schaffte einen Feldaufgang von 45 % in Untersaat und 47 % in Reinsaat und damit eine Pflanzendichte von 11 je m². In der verunkrauteten Teilfläche war keine verminderte Pflanzendichte zu erkennen. Zu diesem Zeitpunkt wurde auf der unbehandelten Fläche ein Unkrautdeckungsgrad von durchschnittlich 60 %, mit Schwankung von 35 bis 70 % ermittelt. Hirtentäschel bildete dabei den höchsten Anteil (60 %), aber auch Ehrenpreis (15 %) und Wintergersten-Durchwuchs (10 %) waren kräftig vertreten. Stiefmütterchen (5 %), Vogelmiere (5 %) und Gänsefuß (3 %) hatten nur einen geringen Anteil, Kamille (1 %) und Risppe (1 %) waren vorhanden, aber unbedeutend.

Der Landwirt hackte erstmals Mitte Juni und damit leider sehr spät. Ein Starkregen nach dem Hacken dürfte den Erfolg zudem reduziert haben. Bei einer Besichtigung Ende Juni wurde eine nahezu reine Hirtentäschel-Verunkrautung mit etwas Wintergerste festgestellt

(siehe Abbildung 51). Weitere mechanische Maßnahmen waren wegen des fortgeschrittenen Entwicklungsstadiums des Unkrauts wenig erfolgsversprechend. Zudem gab es für die unterständige Silphie ein ausreichendes Lichtangebot.



Abbildung 51: Links Schauparzelle vor Hacke am 09.06.2017 sowie rechts danach am 27.06.2017, Schaufläche Lessau

Da der Hackeinsatz nicht optimal durchgeführt werden konnte, reduzierte sich diese Schaufläche auf den Vergleich der Silphie-Ansaat als Untersaat sowie in Reinsaat. Der Effekt, dass Reinsaaten optisch einen wesentlich besseren, üppigeren Eindruck machten, konnte aufgrund vereinzelter Reinsaaten auch bei den Praxisflächen der Landwirte beobachtet werden. Beispielsweise war er auf der zweigeteilten Fläche in Lessau im Jahr 2018 gut sichtbar (vergleiche Abbildung 52 links). Die Beerntung sollte daher getrennt mit Begleitung durch das TFZ erfolgen, was leider unterblieb, da der Erntetermin nicht mitgeteilt wurde.

Eine Besichtigung der Fläche im Jahr 2019 ergab, dass sich die Bestände von Saat der Silphie unter Deckfrucht Mais und Reinsaat Silphie nur noch marginal unterschieden (Abbildung 52, rechts). Diesmal wurde eine getrennte Beerntung durchgeführt, die Ertragsangaben in der Schlagkartei erscheinen allerdings wenig zuverlässig und wurden vom Landwirt mit der Bemerkung versehen, dass „der Boden unten [wohl im Bereich der Reinsaat] steinig ist und der Unterschied nicht aussagekräftig ist“. Entsprechend der Dateninterpretation durch das TFZ lag der Ertrag unter Deckfrucht bei 120,6 dt TM/ha und bei der Anlage in Reinkultur bei 128,6 dt TM/ha. Im zweiten Ertragsjahr bestand demnach immerhin noch ein Vorsprung der Reinsaat von ca. 7 %.



Abbildung 52: Blick über die Schaulfläche Lessau – links: im Jahr 2018, rechts: im Jahr 2019, im linken Bereich auf beiden Fotos ist die sichtbar dichtere Silphie-Reinsaat zu erkennen

2020 wurde die Fläche wieder, trotz dringlicher Aufforderung und angebotener Unterstützung, ohne Rücksprache in einem Stück beerntet. Die Angaben in der Schlagkartei waren leider ebenso dürftig. Bei der Flächenbefliegung Anfang Juli waren jedoch immer noch leichte Unterschiede erkennbar (siehe Abbildung 53, links).



Abbildung 53: Schaulfläche Lessau, Reinsaat im Streifen am linken Feldrand – links: 2020, rechts: 2021

Leider kam der Landwirt auch im Jahr 2021 der Aufforderung zu einer getrennten Ertragserfassung, trotz zugesagter Unterstützung bei der Ernte, nicht nach. Er verwies stattdessen auf Bodenunterschiede, die seines Erachtens einen Vergleich nicht erlauben. Die bei der Flächenbefliegung Anfang Juli 2021 noch erkennbaren leichten Unterschiede (siehe Abbildung 53, rechts) mögen zum Großteil durch den besseren Boden hangabwärts bedingt sein. Es steht dennoch durch Versuchsergebnisse an anderen Orten fest, dass ein in Reinkultur etablierter Silphie-Bestand in den ersten Ertragsjahren höhere Erträge erzielt als ein unter Deckfrucht etablierter Silphie-Bestand. Dieser Ertragsvorsprung dürfte

den Ertragsnachteil durch die Deckfrucht Mais unter normalen Entwicklungsbedingungen aber kaum vollständig ausgleichen. Bei besonders trockenen Jahren ist die Reinsaat im Vorteil.

4.2.6 Schaufläche Buttenheim (Wirkung Hackgerät)

Die Verunkrautung begrenzte sich im Wesentlichen auf Weidelgras und Luzerne, Vielsamigen Gänsefuß, Winden- und Flohknöterich waren nur gering vorhanden, Hühnerhirse nur stellenweise. Der Gesamtunkrautdeckungsgrad lag zum Termin der ersten Hacke bei 8 % und schwankte bei den einzelnen Varianten zwischen 3 und 13 %. Aufgrund der Witterung waren nur zwei Hackmaßnahmen möglich, die erste, sobald die Maisreihen erkennbar waren, die zweite 17 Tage später nach Niederschlag und Wiederbefahrbarkeit. Der Bedarf für eine dritte Hacke war bis zur maximal tolerierbaren Bestandshöhe nicht gegeben. Die unkrautunterdrückende Wirkung des Maises fiel durch die anhaltende Trockenheit nahezu vollständig aus. Die Erträge wurden im Jahr 2018 variantenscharf erfasst und ließen leider keine Ableitung des Erfolgs zu: Ohne Unkrautbekämpfung wurden 45,7 dt TM/ha, mit der frühen Maßnahme 47,7, mit der der späten Maßnahme 48,6 und mit beiden Maßnahmen 40,0 dt TM/ha Körnermais erzielt. Diese fehlende Ausprägung des Effekts der Unkrauthacke wird zum großen Teil auf die extreme Witterung (Trockenheit) zurückgeführt.

Im Versuch konnten im Jahr 2018 nur zwei Termine zur Unkrautbekämpfung (einzeln und in Kombination) sinnvoll untergebracht werden. Zwei weitere produktionstechnisch interessante Termine, zeitig im Frühjahr unmittelbar nach Austrieb und wegen des Längenwachstums zur letztmöglichen Befahrbarkeit, wurden im Jahr 2019 zwar angelegt, die Entwicklung des Bestands war jedoch aufgrund der Trockenheit dermaßen schütter, dass von einer Beerntung abgesehen wurde. Pro Pflanze wurden im Durchschnitt nur zwei Stängel gebildet. Die Varianten aus 2018 wurden von Hühnerhirse überwachsen und auch die frühen Varianten aus 2019 hatten darunter zu leiden. Die späte Variante 2019 zeigte optisch das beste Ergebnis (siehe Abbildung 54), trotzdem waren aber zu keinem Zeitpunkt mehr als 10 dt/ha Trockenmasseertrag zu erwarten – absolut nicht beerntungswürdig.



Abbildung 54: Blick über die Schaufläche Buttenheim, Variante 1, vor (links) und nach (rechts) dem Einsatz der Reihenfräse, 21.06.2019

Problematisch war leider auch die flächige Silphie-Zwischensaat durch den beauftragten Dienstleister im Jahr 2019, die zu unregelmäßigen Reihenabständen führte und weitere Einsätze von Hacke oder Fräse verhinderten. Auf der Fläche sollte daher eine Neuanlage mindestens der Vorgewende im Jahr 2020 stattfinden (siehe Abbildung 55).



Abbildung 55: Blick per Drohne über die Schaufläche Buttenheim, ganz links der Streifen mit dem späten Frästermin 2019 und kräftigster Entwicklung, nach rechts der frühe Termin 2019, weiter nach rechts die Varianten und Kombinationen aus 2018 sowie die unbehandelte Variante ganz rechts; Praxisfläche um den Versuch bereits notbeerntet, um den Samenabwurf zu reduzieren, 31.08.2019

Der erneut schwache Aufwuchs im Jahr 2020, verbunden mit extremem Anflug von Kompasslatick, ließen den Versuch vollends scheitern (Abbildung 56).



Abbildung 56: Silphie-Bestand auf der Fläche Buttenheim: Silphie ist hellgrün, Kompasslattich ist graugrün; Versuchsfläche ist rot eingerahmt, 07.07.2020

4.2.7 Kurzzusammenfassung zu den Schauflächen

Einige Fragen zur Etablierung und zum Anbau der Durchwachsenen Silphie wurden zu Projektbeginn noch divers diskutiert, insbesondere im Hinblick auf das Projektgebiet in Oberfranken. Um die Sachlage darzustellen, wurden diese Fragestellungen auf Schauflächen nebeneinandergestellt, Daten erhoben und bei Feldbegehungen vor Ort sowie Versammlungen erläutert.

Bereits im Jahr 2021 zeichnete sich bei den Schauflächen in Bayreuth und Windischgailenreuth ab, dass Unterschiede zwischen den Varianten nach fünf Jahren kaum noch auf die Anlageart zurückgeführt werden können. Das sehr trockene Jahr 2022 und die damit verbundenen großen Schwankungen bei der Pflanzenentwicklung, überwiegend geprägt durch punktuelle Einflüsse, ließen Verzerrungen aller bislang beobachteten Unterschiede der Anlagevarianten erwarten. Eine Fortsetzung der parzellenweisen Beerntung dieser Schauflächen war daher nicht sinnvoll. Auch bei den Streifenanlagen in Speichersdorf (Pflanzdichte), Lessau (Etablierungsvarianten) und Brunn (Waldrandeinfluss) war nach Laufzeitende keine getrennte Beerntung mehr durchzusetzen, da die notwendigen Fahrten über eine Fuhrwerkswaage bei der Beerntung einen hohen zusätzlichen Arbeits- und Zeitaufwand für die Landwirte bedeuten.

Zum Thema Silphie-Umbruch hätte das TFZ gern ein oder zwei neue Schauflächen angelegt. Allerdings haben die wenigen Landwirte, die ihre Silphie-Bestände aufgegeben ha-

ben, trotz Betreuungsangebots keinen Kontakt zum TFZ aufgenommen. Die an der Landwirtschaftlichen Lehranstalt in Bayreuth bestehende Silphie-Fläche soll in absehbarer Zeit einer Erweiterung des Baugebiets weichen, daher konnte hier kein mindestens zweijähriger Schauversuch durchgeführt werden. Leider konnte dort keine geeignete alternative Fläche mit Silphie-Bewuchs zur Verfügung gestellt werden.

4.3 Batchuntersuchungen zu Biogas- und Methanausbeuten

4.3.1 Biogasausbeuten

Die durchschnittlichen Biogasausbeuten der Silphie lagen über die Jahre 2018 bis 2021 bei 472 bis 529 l_N/kg oTS, was Methanausbeuten von 254 bis 290 l_N/kg oTS entsprach. Damit liegen die Silphie-Bestände in der Projektregion bei Methanausbeuten wie in der Literatur angegeben zwischen 203 l_N/kg oTS [17] und 277 bis 289 l_N/kg oTS [7]. Betrachtet man Tabelle 12, so unterliegen die einzelnen Werte jeder Fläche größeren Schwankungen. Auf nahezu allen Standorten gibt es große Ausreißer nach oben und nach unten. Besonders auffällig ist der Wert des Standorts Heiligenstadt & Scheßlitz aus dem Jahr 2021 mit einer sehr hohen Biogasausbeute von 614 l_N/kg oTS und einer Methanausbeute von 326 l_N/kg oTS. Auch der Wert vom Standort Windischgaillenreuth 8 mit einer Biogasausbeute von 581 l_N/kg oTS und einer Methanausbeute von 310 l_N/kg oTS aus dem Jahr 2021 ist ungewöhnlich hoch. Gleiches gilt für den Wert Windischgaillenreuth 5 aus dem Jahr 2020 mit einer Biogasausbeute von 581 l_N/kg oTS mit entsprechender Methanausbeute von 309 l_N/kg oTS und den Wert des Standorts Hollfeld mit einer Biogasausbeute von 586 l_N/kg oTS und Methanausbeute von 311 l_N/kg oTS. Alle diese Methanausbeuten über 290 l_N/kg oTS sind für die Silphie ungewöhnlich und sehr hoch.

Tabelle 12: Biogasausbeute und Methangehalte über die Versuchsjahre 2018 bis 2021 von verschiedenen Bestandsgütern, unterschiedlichen Standorten und Etablierungsvarianten, Windig. = Windischgailenreuth

Fläche und Beschreibung	Jahr	2018	2019	2020	2021
		Biogasausbeute I _N /kg oTS (oben) und Methangehalt in % (unten)			
Schnabelwaid, sehr gut		502	435	488	506
		52,8	52,5	53,8	53,2
Hollfeld, sehr gut		480	534	517	586
		53,6	53,1	55,0	53,2
Heinersreuth, schlecht zu gut		472	533	464	514
		53,6	51,9	54,0	53,0
Prebitz & Heinersreuth, schlecht zu gut & flachgründig		453	493	492	522
		52,6	51,0	53,8	52,4
Mistelgau, flachgründig		467	526	491	527
		52,5	51,3	53,6	53,0
Heiligenstadt & Scheßlitz, flachgründig		508	511	539	614
		53,3	52,8	54,1	53,0
Windig. 1, Drillsaat nach GPS		491	484	480	521
		54,0	53,0	53,3	53,4
Windig. 4, Einkornsaat unter Mais		490	446	437	515
		45,5	53,6	53,8	53,3
Windig. 5, Drillsaat unter Mais		514	413	581	517
		54,3	52,8	53,1	53,0
Windig. 8, Einzelkorn in Reinsaat		487	477	536	581
		53,6	53,3	52,5	53,3

Eine mögliche Erklärung für die sehr guten und auch schlechten Werte kann in der Methode des Batchtests liegen, da dieser immer Schwankungen von 10 % unterliegt. Dem steht die jeweils dreimalige Messung an jeder Probe gegenüber. Allerdings zeichnete sich ein Trend ab, dass die Jahre 2020 und 2021 etwas höhere Biogasausbeuten aufwiesen als die vorherigen. Der Unterschied zwischen den Jahren ist allerdings nicht signifikant. Zum einen könnten die höheren Ausbeuten auf die besseren Wetterbedingungen und damit frischere Pflanzenbestände zurückzuführen sein, da die Jahre 2020 und besonders das Jahr 2021 feuchter waren. Dadurch waren die Bestände in der Entwicklung etwas verzögert und bildeten aller Wahrscheinlichkeit nach bis zum Erntezeitpunkt weniger Lignin aus, sodass die Umsetzung und damit die Biogas- und Methanausbeute höher gewesen sein können.

Der Zeitpunkt der Probenahme kann zudem auch einen Effekt auf die Ausbeute haben. Gerade frühere Probenahmen und Ernten führen oft zu höheren Methanausbeuten. Besonders im Jahr 2021 wurden die Proben alle zu einem recht frühen Zeitpunkt gezogen, welcher auf die Methanausbeute einen Einfluss gehabt haben kann. BIERTÜMPFEL [7] beschreibt 2015, dass bei einer früheren Ernte die Methanausbeute höher ausfällt, allerdings nicht mehr Methanertrag erreicht wird, da der Zuwachs im August und Anfang September nicht mehr genutzt wird. Die Witterung beeinflusst die Methanausbeute vermutlich mehr als der Standort und der Zustand der Bestände.

4.3.2 Methanerträge

Die Methanerträge wurden anhand des Batchtests und der Erträge der Flächen berechnet. Betrachtet man Abbildung 57, sind die Effekte der Jahre und der Bestandsentwicklungen deutlich erkennbar. Auf allen Standorten steigen die Methanausbeuten mit den Jahren deutlich an. Die einzige Ausnahme stellt der Standort Mistelgau dar. Hier sind die Erträge im Jahr 2019 deutlich höher als in den restlichen Jahren. Die ansonsten ansteigenden Methanerträge sind gleich mehreren Effekten zuzuschreiben. Zum einen waren die Jahre 2018 und 2019 trockener als die Jahre 2020 und 2021. Die Silphie reift unter Trockenstress schneller ab und bildet dadurch für die Vergärung schwerer umzusetzende Stoffe aus. Hinzu kommt die Entwicklungsphase der Bestände, beispielsweise von den Standorten Prebitz & Heinersreuth von verunkrauteten zu guten Beständen. Hier konnten sich die Methanerträge von 696 m_N³/ha im Jahr 2018 auf 2055 m_N³/ha und 2084 m_N³/ha im Jahr 2019 und 2020 steigern. Im Jahr 2021 wurde nur die Fläche in Heinersreuth beprobt, welche zwar einen ähnlichen Bestand und ähnliche Bodenverhältnisse besitzt, aber doch einen deutlich höheren Methanertrag von 2984 m_N³/ha erbrachte. Dieser hohe Ertragsprung wird vermutlich am anderen Probenahmestandort und auch am Jahr liegen. Die Erträge des anderen Bestands in Heinersreuth zeigten in den ersten drei Versuchsjahren eine annähernd lineare Steigerung. Dabei wurden Werte von 1.563 m_N³/ha im Jahr 2018, 1.774 m_N³/ha im Jahr 2019 und 2.010 m_N³/ha im Jahr 2020 ermittelt. Danach vollzog sich eine erhebliche Steigerung des Methanertrags auf 3.645 m_N³/ha im Jahr 2021. In Heiligenstadt & Scheßlitz war der Ertrag am geringsten, was vermutlich der Flachgründigkeit der Standorte und den trockenen Etablierungsjahren geschuldet ist. Allerdings war auch hier über die Jahre ein deutlicher Anstieg des Biogasertrags erkennbar.

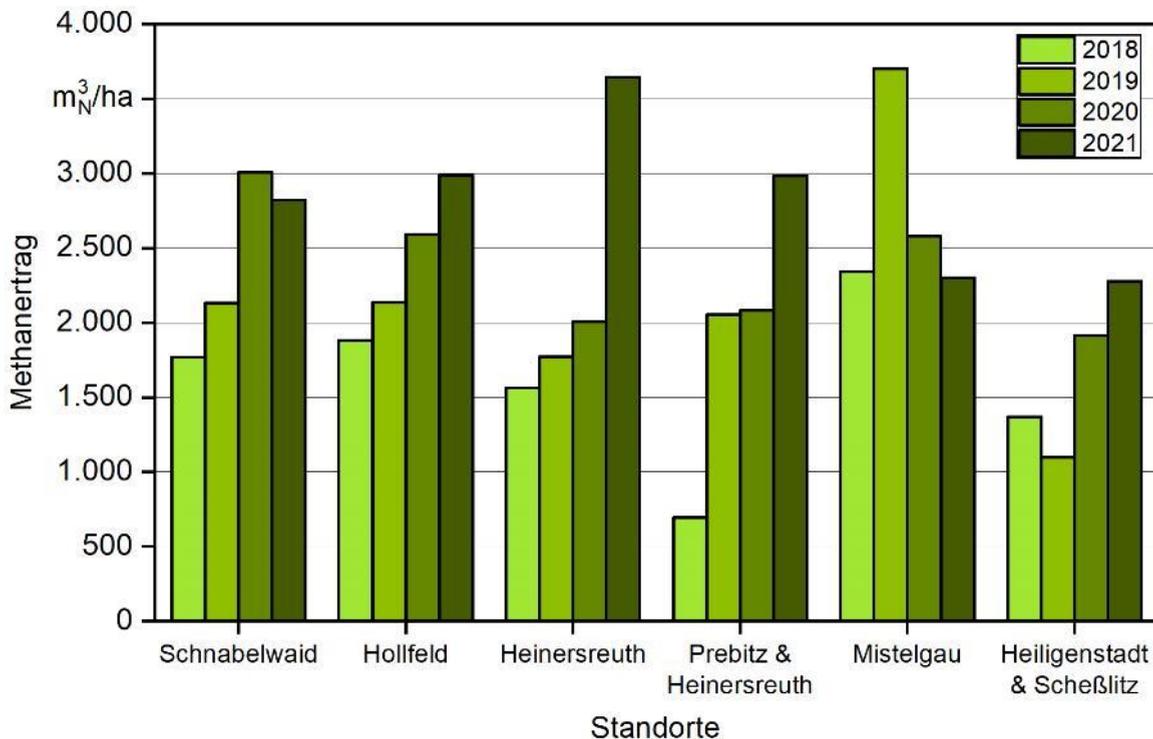


Abbildung 57: Methanerträge unterschiedlicher Standorte und Bestände – Schnabelwaid sowie Hollfeld: sehr guter Bestand; Heinersreuth: Bestandsentwicklung von schlecht zu gut; Prebitz & Heinersreuth: Entwicklung von schlecht zu gut auf flachgründigem Boden; Mistelgau: flachgründig; Heiligenstadt & Scheßlitz: flachgründig

Auf Abbildung 58 sind die Methanerträge der unterschiedlichen Aussaatverfahren am Standort Windischgailenreuth dargestellt. Auch bei diesen Varianten stiegen die Methanerträge über die Jahre an. In Windischgailenreuth schnitt die Reinsaat am besten ab. Dies deckt sich auch mit den eigenen Forschungsergebnissen des TFZ, dass in trockenen Jahren eine Etablierung der Silphie in Reinsaat besser geeignet ist. Durch die ausbleibende Konkurrenz um Wasser mit der Deckfrucht kann sich der Bestand besser entwickeln und erbringt in den Folgejahren höhere Erträge. Allerdings sind die Varianten in Windischgailenreuth durch ihre Lage lokalen Umwelteinflüssen ausgesetzt, was den Ertrag der unterschiedlichen Varianten verzerrt. Wie im Abschnitt 4.2.2 beschrieben hatten die Bestände ihr Ertragsoptimum und befanden sich in einem guten Zustand. Der Ertragsabfall der Variante 1 nach GPS-Getreide ist vermutlich mit der Lage am Hangfuß zu erklären. Brachte die Lage in den Jahren 2018 und 2019 einen Vorteil durch eine bessere Wasserverfügbarkeit, mangelte es im kühlen und regnerischen Jahr 2021 an Wärme und Sonnenintensität, um die guten Erträge der Vorjahre zu erreichen.

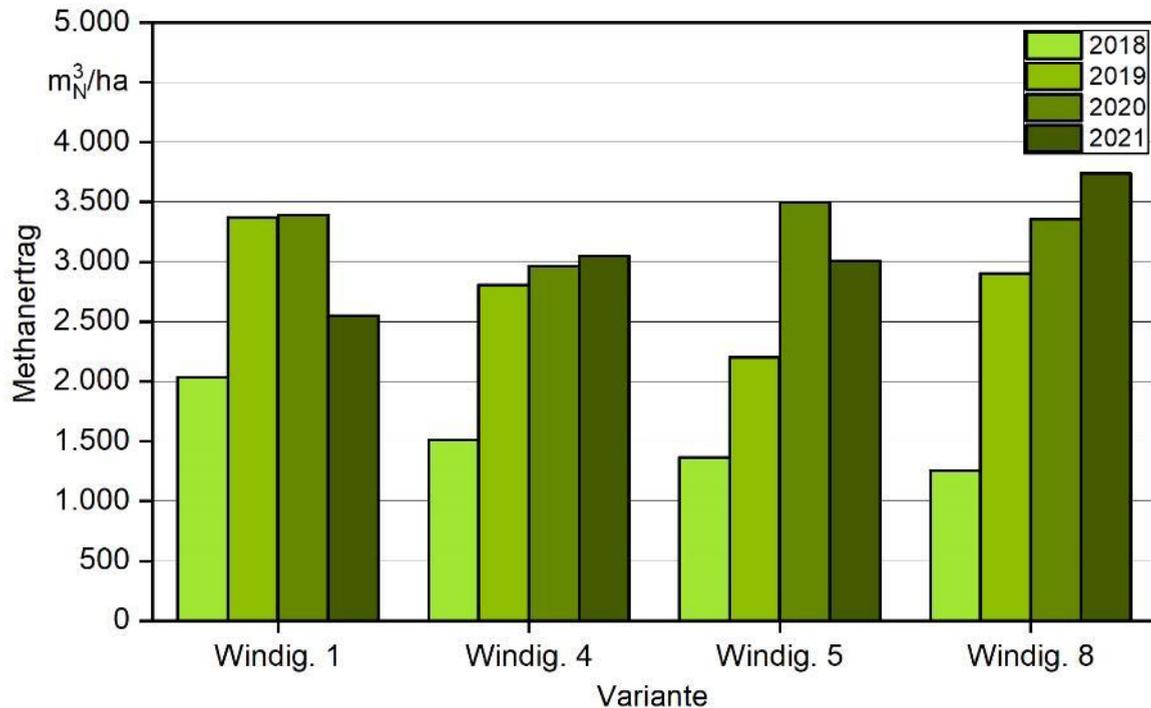


Abbildung 58: Methanerträge von verschiedenen Etablierungsvarianten am Standort Windischgailenreuth über die Versuchsjahre 2018 bis 2021– Windig. 1: Drillsaat nach GPS-Getreide; Windig. 4: Einzelkornsaat unter Mais; Windig. 5: Drillsaat unter Mais; Windig. 8 Einzelkornsaat in Reinsaat

Geht man davon aus, dass die Silphie 50 bis 75 % der Methanerträge von Silomais erreicht, so liegen die bisher in der Projektregion ermittelten Werte der Silphie eher im unteren und mittleren Bereich. Allerdings sind die Biomasseerträge der Silphie stark vom Standort und dem Zustand der Bestände abhängig, da die Silphie nur auf guten Böden und mit sehr guten Beständen höchste Erträge erbringt. Für die vielfach flachgründigen Bodenverhältnisse im Projektgebiet und die schwierige Witterung während der Etablierung sind die erzielten Erträge akzeptabel bis zufriedenstellend.

5 Begleitforschung zu Verdaulichkeit und Futterwert

Autoren: M. FRITZ und T. ETTLE* (* Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft)

Neben dem Einsatz als Biogassubstrat wird auch eine Verfütterung der Silphie immer wieder diskutiert. Am Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL-ITE) wurden daher Verdauungsversuche an Hammeln durchgeführt.

In einem Vorversuch von LfL-ITE wurde bereits 2014 ein sehr geringer Futterwert der Silphie ermittelt, der wahrscheinlich auf den sehr späten und praxisunüblichen Erntetermin im Oktober zurückzuführen war. In den hier durchgeführten Untersuchungen wurden daher zwei Erntetermine berücksichtigt: zum einen ein Termin zur optimalen Abreife der Silphie, das heißt genau zum Erreichen der Siloreife, die meist Ende August bis Mitte September erzielt wird. Der zweite Erntetermin bildet die in der Praxis oft erfolgende parallele Beerntung der Silphie zusammen mit Silomais ab. Meist wird Silphie nur auf kleineren Flächenanteilen des Betriebs angebaut, für die sich eine separate Anfahrt des Häckslers, meist über den Maschinenring oder Lohnunternehmer organisiert, nicht lohnt. Um die in der Praxis daher weitverbreitete „Überreife“ des Silphie auch qualitativ erfassen und bewerten zu können, wurde dieser Termin realisiert.

Die Verdauungsversuche mit Hammeln wurden im Zeitraum Ende November bis knapp Mitte Dezember 2017 durchgeführt. Dabei war die Futterakzeptanz gering, ein Hammel musste sogar aus der Versuchsgruppe entfernt werden, da er sich weigerte, die Silphie-silage zu fressen. Dies wird auf die rauen Blätter, die harten Stängel und den ungewohnten Geruch der Silage – trotz guter Silagequalität – zurückgeführt.

Tabelle 13: Verdaulichkeit der Inhaltsstoffe und Energiegehalte der Durchwachsenen Silphie zu verschiedenen Ernteterminen (FRITZ UND ETTLE 2018 [13])

Einheiten	Organi- sche Sub- stanz	Verdaulichkeit in %				in MJ/kg TM	
		Rohprotein	Rohfett	Rohfaser	ME: um- setzbare Energie	NEL: Netto- Energie- Laktation	
Silphie, Grub 2014, siliert	48,6 ± 1,6	24,9 ± 1,8 b	34,7 ± 5,1 a	29,1 ± 2,0 b	6,6	3,6	
Silphie, Ernte 31.08.17, siliert	49,9 ± 2,6	38,2 ± 2,4 a	38,6 ± 4,0 a	30,4 ± 6,0 b	6,7	3,7	
Silphie, Ernte 22.09.17, siliert	50,4 ± 1,1	36,7 ± 2,5 a	25,4 ± 4,3 b	36,6 ± 1,9 a	6,6	3,7	

Die im Jahr 2017 überprüften Chargen erreichten unabhängig vom Erntetermin mit 23,5 und 24,1 % nur sehr geringe Trockensubstanzgehalte. Trotz der zwischen den drei Varianten vergleichbaren Roh Nährstoffgehalte ergaben sich bei den einzelnen Verdaulichkeitskoeffizienten teils deutliche Unterschiede (Tabelle 13). Die Gesamtverdaulichkeit bzw. die Verdaulichkeit der organischen Masse unterschied sich zwischen den Varianten aber nicht. Für die im Jahr 2017 untersuchten Chargen ergeben sich Energiegehalte von 6,6 bis 6,7 MJ ME/kg TM bzw. 3,7 MJ NEL/kg TM. Der frühere Erntetermin führte zu keiner Verbesserung im Energiegehalt. Die Futtermittelaufnahme war trotz guter Silagequalität schlecht.

Insgesamt zeigen die Daten, dass die Durchwachsene Silphie nur einen Futterwert aufweist, der mit dem von Stroh vergleichbar ist. Eine sinnvolle Einbindung in Rationen für hochleistende Wiederkäuer ist dementsprechend nicht möglich. Der Anbau zu Futterungszwecken ist damit nur für Regionen denkbar, in denen die Standortbedingungen eine der mit Deutschland vergleichbaren Produktion hochwertiger Gras- und Maissilagen oder anderer Alternativen nicht zulassen.

6 Erosionsgefährdung von Durchwachsener Silphie

Autoren: K. AUERSWALD*, A. OBERNEDER*, M. FRITZ, M. WIESMEIER*, F. EBERTSEDER* (* Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie und Biologischen Landbau)

6.1 Kurzfassung

Die Erosionswirksamkeit von Durchwachsener Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) bei erosiven Starkregen (C-Faktor) wurde mithilfe des Subfaktor-Ansatzes und Messungen der Wurzelmassenbildung, der Bodenbedeckung durch Mulch und Pflanzen sowie der Pflanzenhöhe auf mehreren Standorten in unterschiedlich alten Beständen bestimmt. Unter Silphie beträgt der Bodenabtrag durch Starkregen bei mindestens zehnjährigem Anbau weniger als ein Viertel dessen, was bei (mittlerem) konventionellem Ackerbau zu erwarten wäre. Der Abtrag ist deutlich niedriger als unter reinem Getreideanbau, erreicht wegen der stärkeren Gefährdung in den ersten Jahren nach dem Etablierungsjahr aber nicht das niedrige Niveau von Grünland. Ein großer Teil dieser Wirkung ist auf die Bodenkonsolidierung und die intensive Durchwurzelung des Oberbodens zurückzuführen. Gleichzeitig tritt nach der Etablierungsphase auch keine Bodenverlagerung durch eine Bodenbearbeitung auf, sodass als Faustzahl davon ausgegangen werden kann, dass der Bodenverlust durch beide Abtragprozesse zusammen durch den Anbau von Silphie auf etwa ein Achtel gesenkt wird. Die Aussagen gelten gleichermaßen für Silphie-Bestände, die durch Reinsaat oder durch Untersaat unter Mais etabliert wurden.

6.2 Einführung

Durchwachsene Silphie könnte insbesondere auf Standorten mit guter Wasserversorgung Mais für die Biogasnutzung ersetzen (VON GEHREN et al. 2016 [24], HARTMANN UND LUNENBERG 2016 [16], SCHOO et al. 2017 [21]). Es wird angenommen, dass dadurch einige Nachteile des Maises beseitigt oder ausgeglichen werden können. So ist Silphie Blütenpflanze mit hoher Attraktivität für Insekten; sie erhöht die Kulturpflanzenvielfalt in der Landschaft; wegen der Dauerkultur ist eine jährliche Saatbettbereitung nicht notwendig, was arbeitswirtschaftliche Vorteile hat und zu geringerer Erosion führt ([24], GRUNWALD et al. 2020 [15], CUMPLIDO-MARIN et al. 2020 [8]).

Auf hängigen Standorten ohne wesentliche Winderosion stellen die Bearbeitungserosion (*tillage erosion*, DE ALBA et al. 2004 [9]) und der Abtrag bei erosiven Starkregen die beiden dominanten Erosionsformen dar (SCHIMMACK et al. 2002 [20], ÖTTL et al. 2021 [18]). Durch den Wegfall der Bodenbearbeitung nach der Etablierungsphase wird durch den Anbau von Silphie die Bearbeitungserosion vermieden. Die Wirkung auf die Erosion durch Starkregen ist bislang nicht quantifiziert und soll hier abgeschätzt werden.

Die Bestimmung der Erosionswirksamkeit verschiedener Landnutzungen bei Starkregen (der sogenannte C-Faktor der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung; DIN 2017 [10])

erfolgt idealerweise durch Messung des Bodenabtrags unter ansonsten standardisierten Bedingungen, wie sie beispielsweise bei Berechnung von Versuchspartzen mit geeigneten Regensimulatoren eingehalten werden können. Dieses Verfahren scheidet aber bei vielen Landnutzungen aus (z. B. bei ausgewachsenen Silphie-Beständen wegen deren Wuchshöhe) und ist viel zu aufwendig, um alle Möglichkeiten des Anbaus abzudecken (z. B. unterschiedliche Jahreszeiten, verschiedene Etablierungsverfahren, unterschiedliches Alter). Daher wurde bereits vor ca. 50 Jahren ein Subfaktor-Verfahren entwickelt und zunehmend verfeinert, um die Erosionswirksamkeit verschiedener Landnutzungen aus einfach messbaren Größen abzuleiten, die den Erosionsprozess steuern (WISCHMEIER 1975 [25], WISCHMEIER UND SMITH 1978 [26], RENARD et al. 1997 [19], FOSTER et al. 2003 [12]). Die meisten in Deutschland verwendeten C-Faktoren wurden so bestimmt (z. B. AUERSWALD UND KAINZ 1998 [3], AUERSWALD UND SCHWAB 1999 [5]) und für ausgewählte Nutzungen durch Berechnungen überprüft. Wegen des geringen und erst vor Kurzem begonnenen Anbaus von Silphie als Kulturpflanze liegen keine C-Faktoren aus Abtragsmessungen vor. Daher wurde hier der C-Faktor mithilfe des Subfaktor-Verfahrens bestimmt.

Der Silphie-Anbau hat sich seit den ersten Tastversuchen stark verändert (FÖRSTER et al. 2021 [11]). Am Anfang musste Silphie gepflanzt werden. Durch Vorbehandlung, die unter anderem die Keimhemmung reduzierte, gelang es dann, Silphie auch durch Ansaat zu etablieren. Dies erfolgte zunächst in Reinsaat. Da die Jugendentwicklung von Silphie aber sehr langsam ist und im ersten Jahr keinen beerntbaren Bestand liefert, ging man in der Folge zunehmend dazu über, Silphie zusammen mit Mais zu säen, um im Etablierungsjahr die Deckfrucht Mais ernten zu können. Dies könnte auch den Erosionsschutz im ersten Jahr verbessern. Die Etablierung in Untersaat ist mittlerweile ein übliches Verfahren, während auf schwierigeren Standorten die Reinsaat weiterhin empfohlen wird. Im Folgenden wird die Erosionswirkung beider Verfahren behandelt. Gleichzeitig wurden wegen der langen Anbaudauer auch ältere Bestände bewertet. Diese wurden meist durch Pflanzung oder Reinsaat etabliert. Hier wird auf Grund der Beobachtung vieler Bestände davon ausgegangen, dass bei alten Beständen die Nachwirkungen des Etablierungsverfahrens unerheblich sind und die Schutzwirkung der Bestände in späteren Jahren hinreichend ähnlich wird.

6.3 Berechnungsgrundlagen

Der C-Faktor berechnet sich allgemein wie in (6.1) dargestellt (WISCHMEIER UND SMITH 1978 [26]):

$$C = \sum_{i=1}^n \frac{RRA_i \times RBA_i}{m} \quad (6.1)$$

Dabei sind n die Zeitschritte, die entweder Perioden (z. B. [26] [10]) oder aufwendiger alle Tage eines betrachteten Zeitraums sein können. Hier wurde mit Tag-Zeitschritten gear-

beitet. RRA_i und RBA_i sind der im Zeitschritt i fallende Anteil der Jahreserosivität R (relativer R-Anteil) und der relative Bodenabtrag; m ist die Zahl der betrachteten Jahre, um auf den mittleren Wert eines Jahrs zu kommen. Der RRA_i wurde AUERSWALD et al. (2019) [2] entnommen, der die mittlere jahreszeitliche Verteilung der Erosivität in Deutschland von 2001 bis 2017 abbildet (siehe auch Abbildung 64d und Abbildung 65). Von Mitte Oktober bis Mitte April fällt ein relativ geringer Anteil der Erosivität (ca. 3 % der Jahreserosivität pro Monat oder 0,1 %/d), während im Juli 22 % der Jahreserosivität (oder 0,7 %/d) fallen. Dazwischen kommt es zu einem steilen Anstieg bzw. Abfall.

Der RBA_i ergibt sich im Subfaktor-Ansatz nach YODER et al. (1997) [27] entsprechend (6.2):

$$RBA = PLU \times CC \times SC \times SR \times SM \quad (6.2)$$

Dabei quantifiziert PLU (*prior land use*) die Wirkung vorangegangener Nutzungseinflüsse auf den Boden, CC (*crop cover*) die Wirkung der Bedeckung durch die Kulturpflanze, SC (*soil cover*) die Wirkung einer auf dem Boden aufliegenden (Mulch-)Bedeckung, SR (*soil roughness*) die Wirkung der Rauigkeit der Bodenoberfläche und SM (*soil moisture*) die Wirkung der Bodenfeuchte. Alle Subfaktoren quantifizieren die Wirkung einer Abweichung relativ zum Zustand unter langjährig beibehaltenen Saatbettbedingungen.

Subfaktor PLU : Der Subfaktor PLU quantifiziert den Einfluss der Pflanzenreste vorangegangener Früchte im Boden (oberflächennahe Wurzeln, eingearbeitete Ernterückstände) und den Einfluss der Bodenkonsolidierung nach einer Bodenbearbeitung. Im Normalfall ist PLU bei ein- oder überjährigen Ackerkulturen 0,8 und entspricht dem RBA bei Saatbettbedingungen. In Fällen, in denen PLU nicht bekannt ist, kann der Wert wiederum aus Subfaktoren entsprechend (6.3) berechnet werden [27]:

$$PLU = C_f \times (0,951 \times e^{-0,00199 \times 2,67 \times B_{ur}}) \quad (6.3)$$

Dabei ist C_f der Einfluss der Bodenkonsolidierung durch den Wegfall der Bearbeitung, während der Klammerausdruck die Wirkung unterirdischer Ernterückstände quantifiziert. Da beim Silphie-Anbau keine Ernterückstände anfallen und eingearbeitet werden, die auch noch einen Einfluss auf PLU hätten, wurde dieser Teil der Gleichung weggelassen. PLU hängt dann nur noch von der Menge an lebenden und toten Wurzeln im Boden ab. Die Variable B_{ur} ist die Wurzelmasse (in $\text{kg ha}^{-1} \text{cm}^{-1}$) in der obersten Bodenschicht. Die Konstante 2,67 dient der Umrechnung der Einheiten, da bei YODER et al. (1997) [27] B_{ur} in $\text{lb acre}^{-1} \text{in}^{-1}$ und nicht in $\text{kg ha}^{-1} \text{cm}^{-1}$ eingesetzt wird.

Bei fehlender Bearbeitung fällt C_f innerhalb von sieben Jahren exponentiell von 1,0 auf 0,45 ab [27], wie Gleichung (6.4) veranschaulicht:

$$C_f = e^{-0,12 \times t_R} \quad (6.4)$$

Dabei ist t_R die Länge der vorhergegangenen Bodenruhe in Jahren. Wird Silphie in Reinsaat gesät, wäre t_R im Ansaatjahr 0, C_f wäre also 1, und t_R würde bis zum siebten Jahr in jedem folgenden Jahr um 1 steigen. Bei Untersaat unter Mais ist t_R im ersten Reinbestandsjahr bereits 1, da nach Mais keine Bodenbearbeitung folgt.

Subfaktor CC: Die erosionsmindernde Wirkung der Kulturpflanze ist umso größer, je größer der Anteil der bedeckten Bodenfläche F_c ist. Allerdings nimmt diese Wirkung ab, je höher die Bedeckung über dem Boden ist, weil der abtropfende Bestandesniederschlag dann wieder zunehmend kinetische Energie erlangt. Als mittlere Abtropfhöhe H wurde die halbe Höhe des Pflanzenbestandes angenommen. Die Abtropfhöhe geht in die Gleichung (6.5) in Meter ein:

$$CC = 1 - F_c \times e^{-0,03048 \times H} \quad (6.5)$$

Da die Gleichung an realen Pflanzenbeständen entwickelt wurde, berücksichtigt sie bereits, dass bei allen Pflanzen ein Teil des interzipierten Niederschlags am Stängel abfließt (bzw. bei Silphie teilweise in den stängelumfassenden Bechern gespeichert wird).

An den Stellen, an denen der Boden bereits durch eine Mulchbedeckung geschützt ist, bringt eine darüber liegende Pflanzenbedeckung keinen weiteren Schutz [27]. Bei einer Kombination von Mulch- und Pflanzenbedeckung wurde daher F_c durch die effektive Pflanzenbedeckung $F_{c,eff}$ ersetzt:

$$F_{c,eff} = F_c \times (1 - S_p) \quad (6.6)$$

Dabei ist S_p der durch Mulch bedeckte Anteil der Bodenoberfläche. Wenn die Fallhöhe H praktisch 0 wird, weil die Pflanze nahe der Bodenoberfläche wächst (z. B. niederliegendes Unkraut), wird dieser Teil der Pflanzenbedeckung nicht in CC berücksichtigt, sondern in SC (FOSTER et al. 2003 [12]).

Subfaktor SC: Die Wirkung einer Mulchbedeckung hängt vom Anteil der mit Mulch bedeckten Fläche (S_p) ab. Die Mulchwirkung wird umso geringer, je rauer die Bodenoberfläche ist, weil dann ein Teil der Bodenoberfläche bereits durch Wasser geschützt wird, das sich hinter den Rauigkeitselementen staut (FOSTER et al. 2003 [12]), was im Faktor SR berücksichtigt wird. Die Rauigkeit wird im Parameter R_u quantifiziert und geht in cm in Formel (6.7) ein (die Konstante 2,54 dient der Umrechnung in Zoll):

$$SC = e^{-b \times S_p \times \left(\frac{0,24}{R_u / 2,54}\right)^{0,08}} \quad (6.7)$$

Der Faktor b , der die Effektivität der Mulchbedeckung quantifiziert, kann in einem relativ weiten Bereich von 0,030 bis 0,070 variieren. Für Ackerflächen wird ein Wert von 0,035 von YODER et al. 1997 [27] empfohlen und hier verwendet.

Subfaktor SR : Die direkte Wirkung der Rauigkeit über die Verminderung der Abflussgeschwindigkeit und den Schutz der Bodenoberflächen durch in Vertiefungen stehendes Wasser („Wassermulch“) wird über den Parameter SR berücksichtigt. Auch in diese Gleichung geht R_u bei YODER et al. (1997) [27] in Zoll ein, hier in Formel (6.8) aber in cm (Umrechnungsfaktor 2,54).

$$SR = e^{-0,66 \times (R_u / 2,54 - 0,24)} \quad (6.8)$$

Subfaktor SM : Die Wirkung der Bodenfeuchte SM wird 1,0, wenn der Boden nahe der Feldkapazität ist. SM sinkt linear mit zunehmender Entleerung des Bodenspeichers und wird 0, wenn der Boden bis zu einer Tiefe von 1,8 m bis nahe dem permanenten Welkepunkt entleert ist. Die Tiefe von 1,8 m ist für das Subfaktor-Verfahren so festgelegt (FOSTER et al. 2003 [12]), passt aber auch gut mit der großen Durchwurzelungstiefe von *S. perfoliatum* (SCHOO et al. 2017 [21]) zusammen.

6.4 Datengrundlage

Für die Bestimmung von PLU werden nur die Wurzelmasseindichten nahe der Bodenoberfläche benötigt. Sie wurden an drei Standorten mithilfe von Rammkernen (Tiefe 0 bis 15 cm; Durchmesser 6 cm, Volumen 424 cm³) in vierfacher Wiederholung nach der Ernte von Mais und nach der Ernte von Silphie nach dem fünften Standjahr bestimmt. Da die Werte immer für das kommende Jahr gelten, gilt der Maiswert für das erste Silphie-Jahr. Für das fünfte Standjahr wurde angenommen, dass der Aufbau der lebenden und abgestorbenen Wurzelbiomasse von Silphie schon weitgehend abgeschlossen ist und dieser Wert daher auch in den folgenden Jahren verwendet werden kann.

Die Rammkerne wurden vorsichtig zerteilt und die Wurzeln > 2 mm abgesiebt. Die Wurzeln wurden, ohne sie zu waschen, gewogen, um Verluste zu vermeiden. Dabei wurde angenommen, dass sich der Verlust von Wurzeln < 2 mm und das Austrocknen der Wurzeln während der Probenaufbereitung einerseits und mögliche noch anhaftende Bodenreste andererseits weitgehend kompensieren. Die Oberbodeneigenschaften der drei Standorte sind in Tabelle 14 zusammengestellt. Weitere Details zum Vorgehen sind FÖRSTER et al. (2021) [11] zu entnehmen.

Tabelle 14: Oberbodeneigenschaften der Standorte zur Bestimmung der Wurzelbiomasse (angegebene Gehalte, bis auf den Steingehalt, beziehen sich jeweils auf den Feinboden; der Steingehalt ist auf den Gesamtboden bezogen) TRD ist die Trockenraumdichte des Gesamtbodens; S, U und T sind die Sand-, Schluff- und Tongehalte, $n = 8$

Standort	pH	CaCO ₃ -Gehalt in mg g ⁻¹	C _{org} -Gehalt in mg g ⁻¹	TRD in g cm ⁻³	Steingehalt in %	S in %	U in %	T in %
Aholfing	6,42	1,2	9,4	1,48	3,4	62	26	12
Gelchsheim	6,96	4,4	13,0	1,35	0,0	2	71	27
Wolferkofen	6,28	0,9	11,1	1,38	0,4	6	72	22

Für die Bestimmung von *SM* werden die Feldkapazität bis 1,8 m Tiefe und der Jahresgang der Füllung der Feldkapazität benötigt. Die mittlere Feldkapazität von Böden in Deutschland wurde aus den ca. 15.000 Datensätzen von BGR (2020) [6] berechnet. Zur Abschätzung der Entleerung durch Verdunstung und Wiederauffüllung durch Niederschlag wurde eine klimatische Wasserbilanz aus den Daten des DWD für einen mittleren Standort in Süddeutschland (mittlerer Jahresniederschlag 850 mm a⁻¹; mittlere potenzielle Verdunstung 630 mm a⁻¹) tageweise berechnet, über 15 Jahre gemittelt und geglättet.

Bei der Bodenrauigkeit wurde ein Standardwert von 2 cm angenommen. Für die Berechnung von *CC* und *SC* wurden Mulchbedeckung, Pflanzenbedeckung und Pflanzenhöhe an Altbeständen und in neu angelegten Beständen bestimmt. Insgesamt fanden 344 Erhebungen in den Jahren 2018 (111 Erhebungen) und 2019 (233) in der Unterbayerischen Gäulandschaft und einem kiesig-lehmigen Standort bei Aholfing (Landkreis Deggendorf) sowie auf elf Standorten in Oberfranken zwischen Forchheim und Bayreuth und einem Standort bei Amberg in der Oberpfalz statt. Die Bestände waren ein Jahr (142), zwei Jahre (114), drei Jahre (37), sieben Jahre (34) acht Jahre (4) und neun Jahre (13) alt. Bei den alten Beständen wurden weniger Zeitpunkte und Flächen erfasst, da diese Bestände rasch 100 % Pflanzenbedeckung erreichten und damit weniger variabel in Raum und Zeit waren. Die beiden ersten Jahre erfassten Untersaat und Reinsaatvarianten. In alten Beständen kamen auch andere Etablierungsformen vor (Pflanzung), was aber nicht differenziert wurde, da davon kein Einfluss mehr erwartet wurde.

Die Anbauversuche mit der Deckfrucht Mais fanden auf einem Standort bei Straubing mit einem tiefgründigen Lößboden und auf dem Standort Aholfing (Landkreis Deggendorf) statt, der deutlich sandiger und im Untergrund kiesig war (siehe auch Tabelle 14). Mais (sechs Körner je m²; Sorte „GEOXX DUO“) und Silphie (25 Körner je m²) waren gleichzeitig mit 37,5 cm Abstand in alternierenden Reihen gesät worden. Zum Vergleich werden auch in Reinsaat etablierte Bestände (Saatreihenabstand 50 cm) ausgewertet. Weitere Details zur Versuchsanlage sind FÖRSTER et al. (2021) [11] zu entnehmen.

Die für die *RBA*-Berechnung notwendigen Daten (Mulchbedeckung, Pflanzenbedeckung, Wuchshöhe) wurden an mehreren Parzellen mehrfach im Jahr erhoben. Dazu wurden Fotos ausgewertet und Wuchshöhenmessungen vorgenommen. Die Untersaatvariante ent-

wickelte sich besonders uneinheitlich. Daher wurden von ihr besonders viele Parzellen und Termine erfasst, während es bei den Altbeständen, die sich sehr rasch entwickelten, am wenigsten waren. Bei den im Folgenden exemplarisch dargestellten Beständen im siebten Jahr wurden 111 (Parzellen × Zeitpunkte) erfasst. Anschließend wurden alle Parzellen eines Verfahrens und eines Zeitpunkts gemittelt.

Da die Messungen keine kontinuierlichen Daten lieferten, mussten Datenlücken durch Schätzung geschlossen werden. Die Verfahren unterschieden sich, je nachdem ob die Datenlücken zu einem Messzeitpunkt oder zwischen zwei Messzeitpunkten aufgetreten waren.

Datenlücken an Messzeitpunkten:

Wenn die Bestände sich voll entwickelt hatten, konnte die Mulchbedeckung nicht mehr bestimmt werden. Daher wurde angenommen, dass die Mulchbedeckung bis zum Zeitpunkt der Ernte, wenn wieder eine Messung möglich war, sich auf die Hälfte verringert hatte. Dem lagen die Überlegung und die Beobachtung zugrunde, dass die verholzten Stängelreste sich über den Sommer wenig abbauen, die Mulchbedeckung, die auf Unkräuter und ihre Reste zurückgeht, aber allmählich verschwindet.

Datenlücken zwischen den Messzeitpunkten:

Zwischen den Messzeitpunkten wurde linear interpoliert, mit drei Ausnahmen:

- die Messwerte des letzten Zeitpunkts im Jahr wurden bis zum Jahresende fortgeschrieben, weil die Veränderungen außerhalb der Vegetationsperiode gering waren;
- an den Tagen am Jahresanfang ohne Messwert wurden die Messwerte des ersten Messtags (22. März) verwendet;
- bei der Ernte wurde ein sprunghafter Wechsel angenommen, in dem der letzte Wert vor der Ernte bis zur Ernte fortgeschrieben und der erste Wert nach der Ernte ab der Ernte angenommen wurde.

Das erste Jahr (Aussaatjahr) wurde bei Maisdecksaat dem Mais zugerechnet und daher nicht berücksichtigt. Im Folgenden wird daher der Begriff Reinbestandsjahr verwendet. Er kennzeichnet, wie viele Jahre Silphie nach der Ernte der Deckfrucht angebaut wurde. Silphie ist also im Jahr nach der Ernte der Deckfrucht im ersten Reinbestandsjahr, obwohl die Pflanzen da schon zweijährig sind. Bei Reinsaat ist das Reinbestandsjahr identisch mit dem Alter des Bestandes.

Diese Annahmen sind umfangreich, aber es wird sich zeigen, dass sie nicht kritisch sind. Da Silphie-Bestände über 15 Jahre hohe Erträge liefern (CUMPLIDO-MARIN et al. 2020 [8], GANSBERGER et al. 2015 [14]) und entsprechend lang genutzt werden können, sind vor allem die Jahre mit voll entwickeltem Bestand von Bedeutung. Diese unterscheiden sich hinsichtlich der Entwicklung der erosionsbeeinflussenden Größen aber kaum. Außerdem hat *PLU* einen dominanten Einfluss, der die Einflüsse von *CC* und *SC* in späteren Jahren überwiegt.

Das Wesen von *PLU* ist, dass es die vorangegangene Nutzungsgeschichte abbildet. Dies bedeutet, dass *PLU* innerhalb eines Jahrs nicht variiert und der Wert daher auch nicht mit

dem Jahresgang der Regenerosivität gewichtet werden muss, um seinen Effekt zu quantifizieren. *PLU* variiert dagegen systematisch von Jahr zu Jahr, weil sich die Vorgeschichte systematisch ändert. Daher werden im Folgenden *PLU* und die saisonal wechselnden Faktoren *CC*, *SC*, *SR* und *SM* getrennt betrachtet. Wenn *PLU* klein ist, wird der Beitrag der übrigen C-Subfaktoren relativ unwichtig. Der C-Faktor wird in jedem Fall klein sein. Umgekehrt bestimmen bei großem *PLU* Pflanzen- und Mulchbedeckung, Rauigkeit und Bodenfeuchte sehr viel stärker den Bodenabtrag. Diese vier Subfaktoren variieren im Jahresverlauf und müssen daher mit *RRA* gewichtet werden. Daher ist es vorteilhaft, sie zusammen zu betrachten.

6.5 Ergebnisse und Diskussion

6.5.1 Subfaktor *PLU*

Die Wurzelmasseindichten wiesen aufgrund der relativ kleinen Proben eine recht große Streuung auf. Am sandigeren Standort Aholting waren die Werte nach dem fünften Standjahr von Silphie etwas höher (mit einem großen Ausreißer) als an den beiden anderen Standorten. Im Mittel über alle Standorte und Wiederholungen betrug die Wurzelmasseindichte nach dem fünften Reinbestandsjahr von Silphie $606 \text{ kg ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ bzw. $314 \text{ kg ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ohne den Ausreißer (Abbildung 59, linke Tafel). Nach Mais (= *PLU* fürs erste Reinbestandsjahr) fanden sich dagegen im Mittel nur $15 \text{ kg ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$. Da die Wurzelwirkung mit zunehmender Wurzelmenge nur stark subproportional (e-Funktion) abnimmt, stellt sich die Frage nicht, ob die Wurzelwirkung mit oder ohne Ausreißer berechnet werden sollte, da beide Werte sehr ähnlich sind. Durch die Funktion zur Berechnung der Wurzelwirkung werden die Werte umgedreht, der Ausreißer ist nun der niedrigste Wert. Die Werte im ersten Jahr nach Mais sind typisch für einjährige Ackerkulturen, während die Wurzelwirkung bis zum sechsten Standjahr stark auf ca. 0,2 absinkt. Für die Berechnung aller Standjahre wurde angenommen, dass der Aufbau der Wurzelmasse einer log-Funktion folgt (Abbildung 59, linke Tafel) (6.9):

$$B_{ur} = 15 + 140 \times \ln(t_s) \quad (6.9)$$

Dabei ist bei Reinsaat 15 die Wurzelmasse einer Maisvorfrucht vor Silphie bzw. bei Untersaat die Wurzelmasse nach dem Maisdeckfruchtjahr, t_s das Reinbestandsjahr von Silphie. Stieg diese Gleichung über Werte von $B_{ur} > 300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$, wurden diese auf 300 gesetzt. Dies führt dann zu der in Abbildung 59 (rechte Tafel) dargestellten Wirkung.

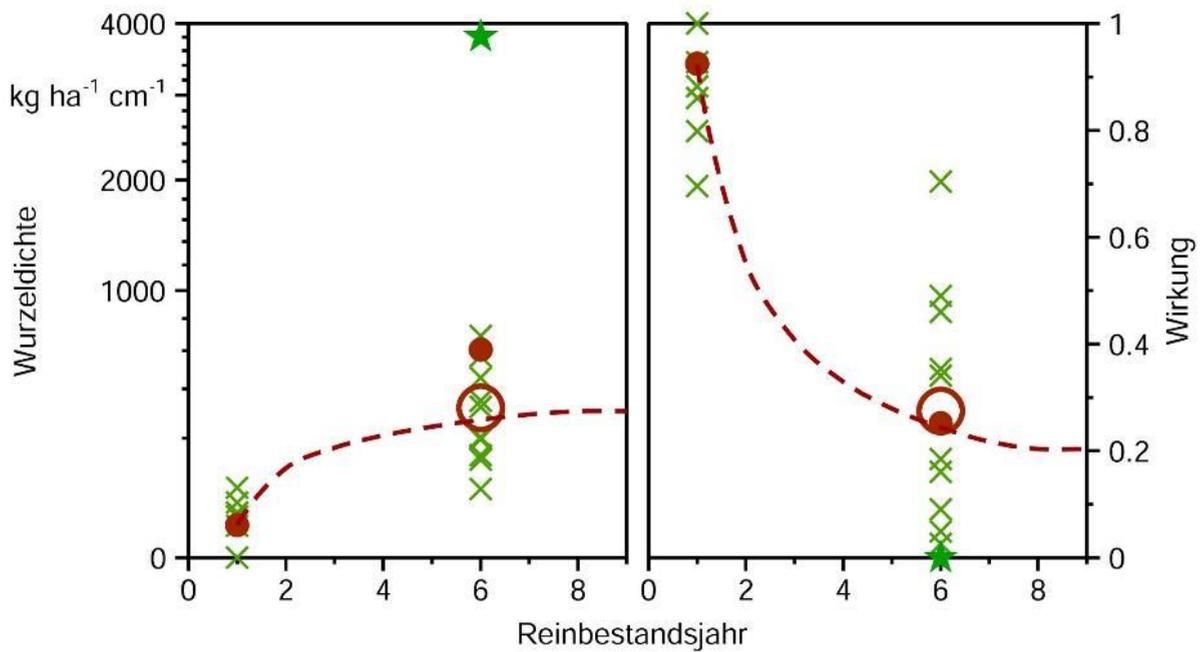


Abbildung 59: Wurzelmasse *Bur* (links) und Wurzelwirkung (rechts) am Beginn des ersten Reinbestandsjahrs (nach der Maisernte) und am Beginn des sechsten Reinbestandsjahrs (nach der Ernte des fünften Jahrs); insgesamt 24 Messungen auf drei Standorten. Um die Auflösung bei niedrigen Wurzelmassen zu erhöhen, ist die y-Achse der linken Tafel quadratwurzel-skaliert. Die Kreuze stellen die Messwerte (links) bzw. die aus den Messwerten abgeleitete Wurzelwirkung (rechts) dar. Die gefüllten Kreise sind die jeweiligen Mittelwerte, die offenen Kreise sind die Mittelwerte ohne den Ausreißer der linken Tafel. Der Ausreißer der linken Tafel ist in beiden Tafeln als Stern dargestellt. Die gestrichelte Linie ist die angenommene Zunahme der Wurzelmasse (links) bzw. die daraus berechnete Wurzelwirkung (rechts) über die Standdauer.

Durch die hohe Wurzelmasse von Silphie im Oberboden ist der Wurzeffekt auf *PLU* noch stärker als der Konsolidierungseffekt durch die Bodenruhe (Abbildung 60, links). Im ersten Jahr nach der Etablierung unter einer Mais-Deckfrucht beträgt *PLU* 0,88. Dies ist nur geringfügig höher als der üblicherweise für die Saatbettphase einjähriger Ackerkulturen angesetzte Wert von 0,80 (z. B. DIN 2017 [10], AUERSWALD et al. 2021 [1]). Dass der Wert nach der Mais-Deckfrucht geringfügig höher ist, ist plausibel, da bei diesem Verfahren und dieser Vorfrucht keine Ernterückstände in den Boden eingearbeitet werden, wie es sonst vor einer Saatbettbereitung geschieht. In den ersten fünf Jahren nach dem Etablierungsjahr nehmen beide Effekte in ihrer Wirkung sehr stark zu (stark fallende Werte). Das Produkt beider Effekte ergibt dann *PLU* (Abbildung 60, rechts), der durch die Kombination der Konsolidierungs- und der Wurzelwirkungen bereits in den ersten drei Jahren stark abfällt und nach sieben Jahren einen Wert von 0,09 erreicht. Dies bedeutet, dass, selbst wenn der Boden völlig unbedeckt wäre (*SC* und *CC* also 1 wären), der *C*-Faktor von Silphie nach dem siebten Jahr nicht höher als 0,09 sein könnte. Dieses Szenario ist zwar unrealistisch, weil dann auch keine Wurzeln möglich wären, soll aber zeigen, dass es in späteren Jahren auf die Bedeckung mit Mulch und Pflanzen kaum mehr ankommt und

Abweichungen von Standorten oder Jahren mit ungewöhnlicher Witterung von den hier für die Berechnung von SC und CC zugrunde gelegten Werten sich nur geringfügig auf den C-Faktor auswirken können.

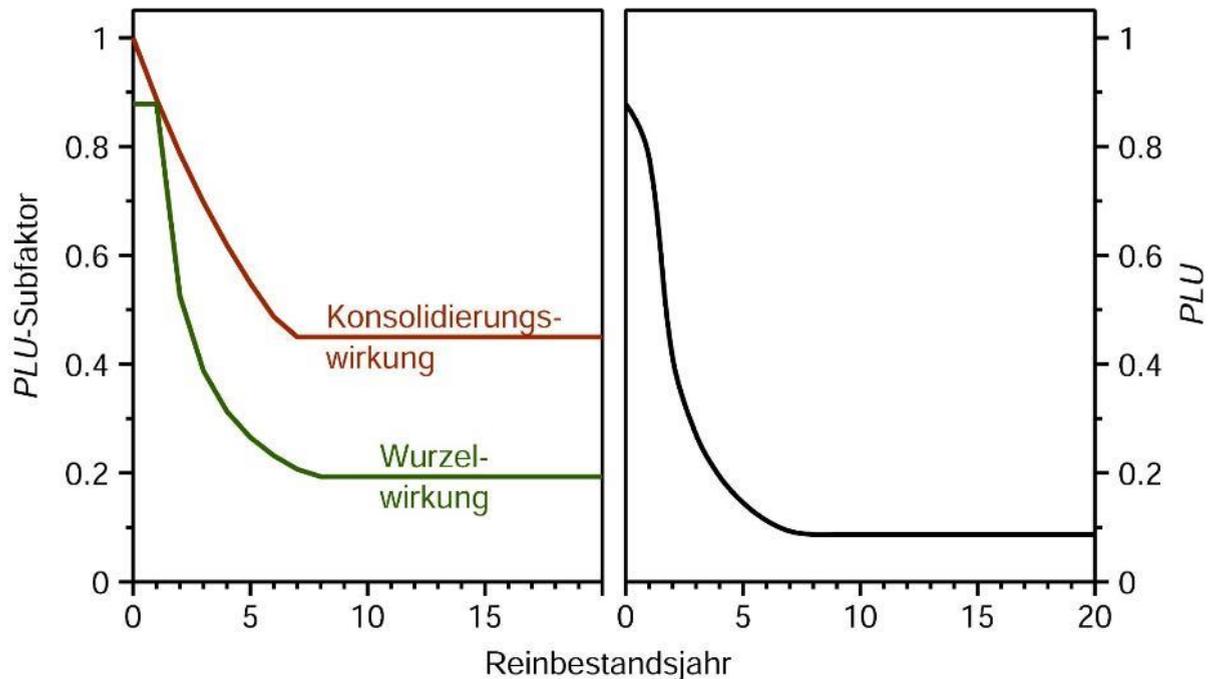


Abbildung 60: Einfluss der Konsolidierung durch Bodenruhe und Einfluss der Wurzel-dichte auf den Prior Land Use Factor PLU (links) sowie kombinierte Wirkung (rechts) in Abhängigkeit vom Reinbestandsjahr bei Etablierung unter einer Mais-Deckfrucht. Bei Etablierung in Reinsaat verschiebt sich die Konsolidierungswirkung um ein Jahr nach rechts; die Wurzelwirkung bleibt gleich, wenn man annimmt, dass nach der Ernte der Deckfrucht Maiswurzeln dominieren und der Effekt des weiteren Mais-Reihenabstandes durch die zwischengesäten Silphie-Reihen kompensiert wird.

6.5.2 Subfaktor SM

Im Mittel beträgt die nutzbare Feldkapazität in Deutschland 18 mm dm^{-1} (Standardabweichung $6,4 \text{ mm dm}^{-1}$). Über $1,8 \text{ m}$ beträgt damit die mittlere nutzbare Feldkapazität 322 mm .

Für die Monate Januar bis März kann für weite Teile Deutschlands im langjährigen Mittel angenommen werden, dass die Bodenfeuchte nahe der Feldkapazität liegt ($SM = 1,0$), da in den Wintermonaten der Niederschlagsüberschuss über 200 mm beträgt und damit etwaige Defizite sicher aufgefüllt werden (Abbildung 61, links). Im April/Mai werden dann etwa 40 mm aus der nutzbaren Feldkapazität entnommen, sodass dann ein Boden mit 322 mm nutzbarer Feldkapazität noch zu 88% gefüllt ist ($SM = 0,88$.) Über den Sommer halten sich dann Niederschlag und Verdunstung die Waage, sodass dieser Zustand über den Sommer andauert. Von Juni bis September wurde daher $SM = 0,88$ angenommen

(Abbildung 61, rechts). In den dazwischenliegenden Monaten, in denen entweder der Bodenspeicher entleert (Frühsommer) oder wieder aufgefüllt wird (Spätherbst/Frühwinter), wurden allmählich sinkende bzw. steigende Werte von SM angenommen.

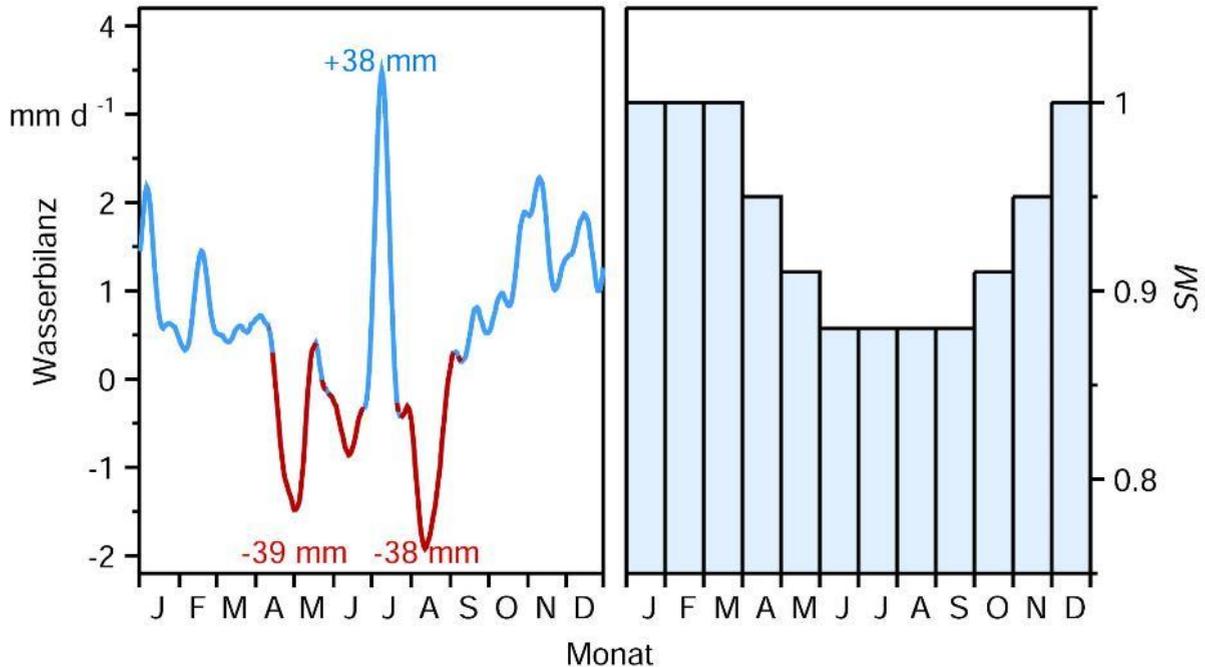


Abbildung 61: Links: Langjährig mittlere tägliche klimatische Wasserbilanz (Niederschlag minus potenzielle Verdunstung) für einen Standort in Süddeutschland (mittlerer Jahresniederschlag 850 mm a^{-1} ; mittlere potenzielle Verdunstung 630 mm a^{-1}). Rechts: Daraus abgeleiteter Jahresgang des Parameters SM, der den Einfluss des langjährig mittleren Jahresgangs der Bodenfeuchte abbildet.

6.5.3 Subfaktoren SR, SC und CC

Als Reinbestand gesät, entwickelt sich erst ab Mitte Juni die erste Pflanzenbedeckung und ab Mitte August sind die Bestände relativ dicht (Abbildung 62; zum direkten Vergleich zeigt Abbildung 63 die Entwicklung von Altbeständen), sofern Aussaat und Etablierung gut geglückt sind. Insbesondere in lückigeren Beständen kann relativ viel niedrig wachsendes Unkraut sich aber auch entwickeln (Abbildung 64c), weswegen die effektive Pflanzenbedeckung, die um die Mulchbedeckung reduziert ist, nur etwa 50 % erreicht (Abbildung 64a). Wegen der hohen Erosionswirksamkeit der Mulchbedeckung sinkt ab Ende Juni das Produkt der im Jahresverlauf variierenden Faktoren $CC \times SC \times SR \times SM$ schnell und stark ab (Abbildung 64d). Allerdings tritt schon ein erheblicher Teil der Regenerosität auf, bevor die Schutzwirkung gegen Ende Juni einsetzt (siehe Jahresgang der Regenerosität in Abbildung 64d), sodass im ersten Jahr eine relativ hohe Erosionsgefährdung erwartet werden kann.



Abbildung 62: Idealtypische Entwicklung von Silphie-Beständen nach gelungener Anlage in Reinsaat

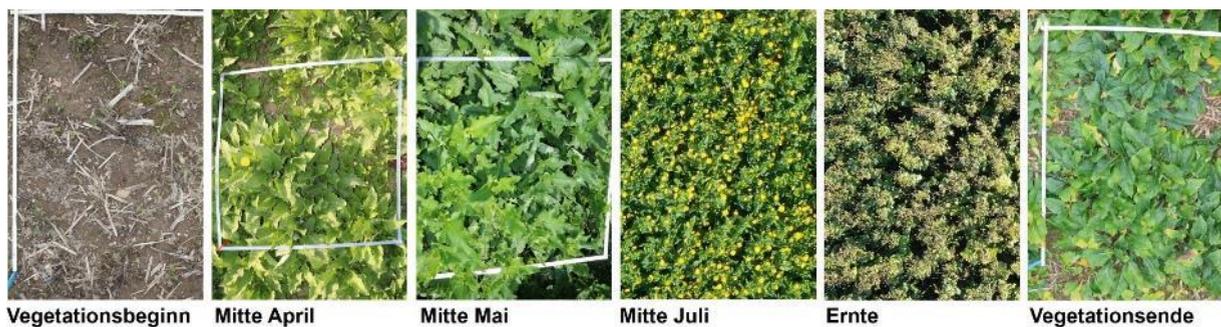


Abbildung 63: Idealtypische Entwicklung von Silphie-Altbeständen

Der generalisierte Jahrgang des Faktorenprodukts $CC \times SC \times SR \times SM$ ist in Abbildung 65 dargestellt. Während nach Reinsaat (Abbildung 65, linke Tafel) in der ersten Hälfte des ersten Jahrs noch eine relativ große Gefährdung gegeben ist, ist bereits im zweiten Jahr nach einer Reinsaat der Schutz über das gesamte Jahr hoch (d. h. das Faktorenprodukt ist niedrig). In den Folgejahren sinkt das Faktorenprodukt $CC \times SC \times SR \times SM$ noch geringfügig, da sich mehr Pflanzenreste auf der Oberfläche ansammeln, niedrig wachsendes Unkraut zunimmt und die Silphie-Bestände schneller dicht werden (Abbildung 64, linke Tafel; siehe auch Abbildung 62 und Abbildung 63).

Im Vergleich zur Reinsaat ist im ersten Reinbestandsjahr nach einer Untersaat eine deutliche Schutzwirkung bereits im Mai und Juni gegeben, wenn der Jahrgang der Regenerosivität steil ansteigt (Abbildung 65, rechte Tafel). Die Etablierung durch Untersaat vermindert daher stark Erosionsprobleme im Spätfrühling und Frühsommer. In den Folgemonaten werden dann allerdings nicht so niedrige Werte erreicht wie im ersten Jahr nach Reinsaat, da die Bedeckung geringer bleibt. Dies liegt an dem weiteren Reihenabstand bei Etablierung durch Untersaat (75 cm gegenüber 50 cm bei Reinsaat) und da durch die Maiskonkurrenz das Auflaufen ungleichmäßiger erfolgt und die Bestände im Ansaatjahr unter Mais schwächer bleiben.

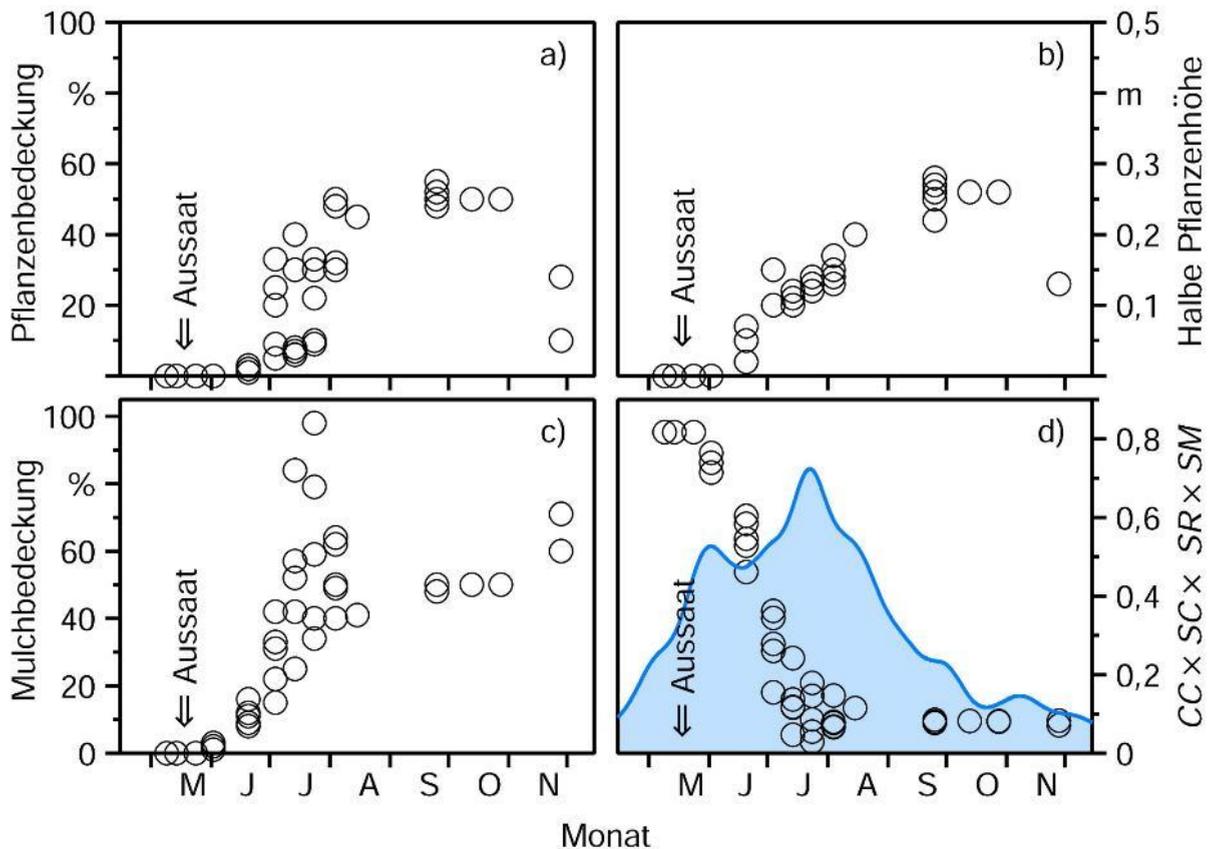


Abbildung 64: Entwicklung der (um die Mulchbedeckung verminderten) effektiven Pflanzenbedeckung (a), der halben Pflanzenhöhe (b) und der Mulchbedeckung (meist bodennah wachsende Pflanzen) (c) bei Reinsaat im ersten Jahr und daraus abgeleitetes Subfaktorenprodukt $CC \times SC \times SR \times SM$ (d. h. ohne PLU) (d); die schattierte Fläche in Tafel d zeigt den täglichen Anteil der Regenerosivität (Einheit: $\% d^{-1}$)

Berücksichtigt man schließlich noch PLU und berechnet Einzeljahres-C-Faktoren, so liegen diese im ersten Reinbestandsjahr geringfügig unter dem Wert, der für Maisbestände zu erwarten ist (Abbildung 60, linke Tafel). Reinsaat- und Untersaat-Silphie unterscheiden sich kaum, weil bei Etablierung durch Untersaat zwar die oberirdische Schutzwirkung ($CC \times SC \times SR \times SM$) im ersten Reinbestandsjahr etwas schlechter, PLU wegen der um ein Jahr längeren Bodenruhe aber niedriger ist. Da in den späteren Jahren, bis PLU nach sieben Jahren sein Minimum erreicht, PLU bei Untersaat-Silphie immer etwas günstiger ist, sind die Einzeljahres-C-Faktoren bei Untersaat-Silphie immer etwas niedriger. Dieser Unterschied ist aber minimal und wesentlich kleiner, als die Variation, die durch andere Einflüsse zu erwarten wäre (z. B. Einflüsse von Standort, Jahreswitterung und Bewirtschafteter). Nach sieben Jahren, wenn die Wirkung von PLU voll ausgeprägt ist, sind die Einzeljahres-C-Faktoren bei beiden Etablierungsvarianten gleich, da angenommen wurde, dass bei alten Beständen die Entwicklung der Pflanzenbestände von der Etablierung unabhängig wird, da die Pflanzenstöcke nach und nach ineinanderwachsen (siehe Abbildung 63), sodass selbst die Saatzeilen nicht mehr erkennbar sind. Die Einzeljahres-C-Faktoren liegen dann etwa so niedrig wie bei Grünland.

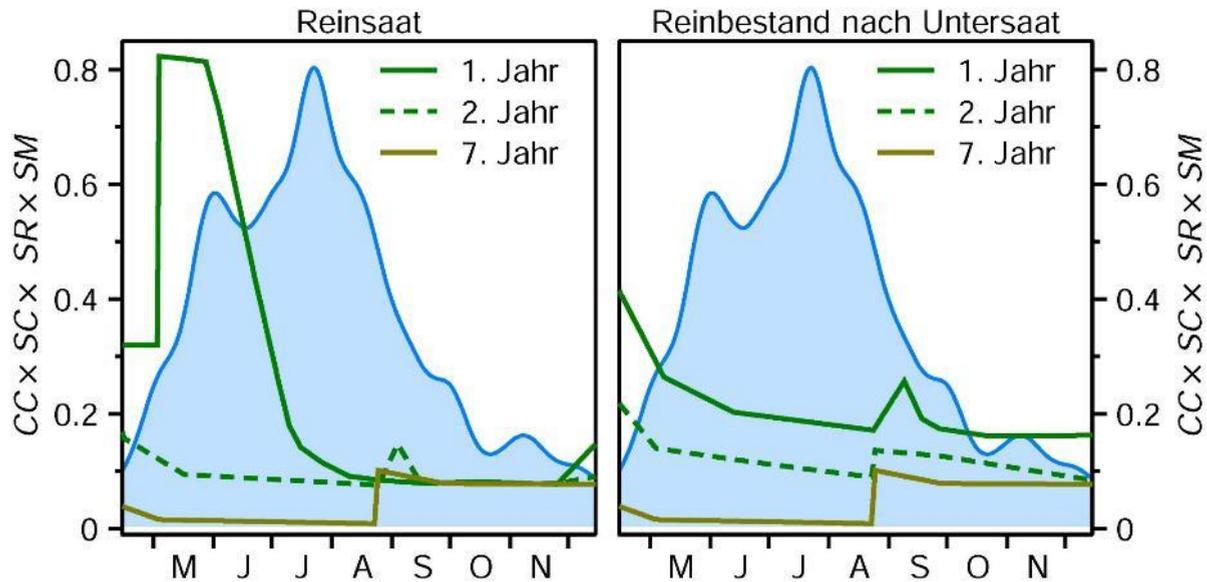


Abbildung 65: Jahresverlauf des Produkts der saisonal sich ändernden Subfaktoren CC, SC, SR und SM (d. h. ohne PLU). Die schattierte Fläche zeigt den täglichen Anteil der Regenerosivität (Einheit: $\% d^{-1}$). Links: nach Etablierung durch Reinsaat im ersten, zweiten und siebten Bestandsjahr. Rechts: nach Etablierung durch Untersaat unter Mais im ersten Reinbestandsjahr.

Berechnet man schließlich den C-Faktor im Mittel über die Nutzungsdauer, zeigt sich wiederum, dass sich Reinsaat- und Untersaatbestände nicht unterscheiden (Abbildung 66, rechte Tafel). Mit zunehmender Nutzungsdauer sinkt der mittlere C-Faktor stark ab, wenn auch weniger stark als die Einzeljahres-C-Faktoren, da auch die Anfangsjahre mitberücksichtigt werden. Bereits nach vier Reinbestandsjahren liegt der C-Faktor unter dem Wert, der im Mittel bei Getreidebeständen erwartet werden kann (0,09). Für 20-jährige Bestände sinkt er dann bis knapp über 0,01 ab.

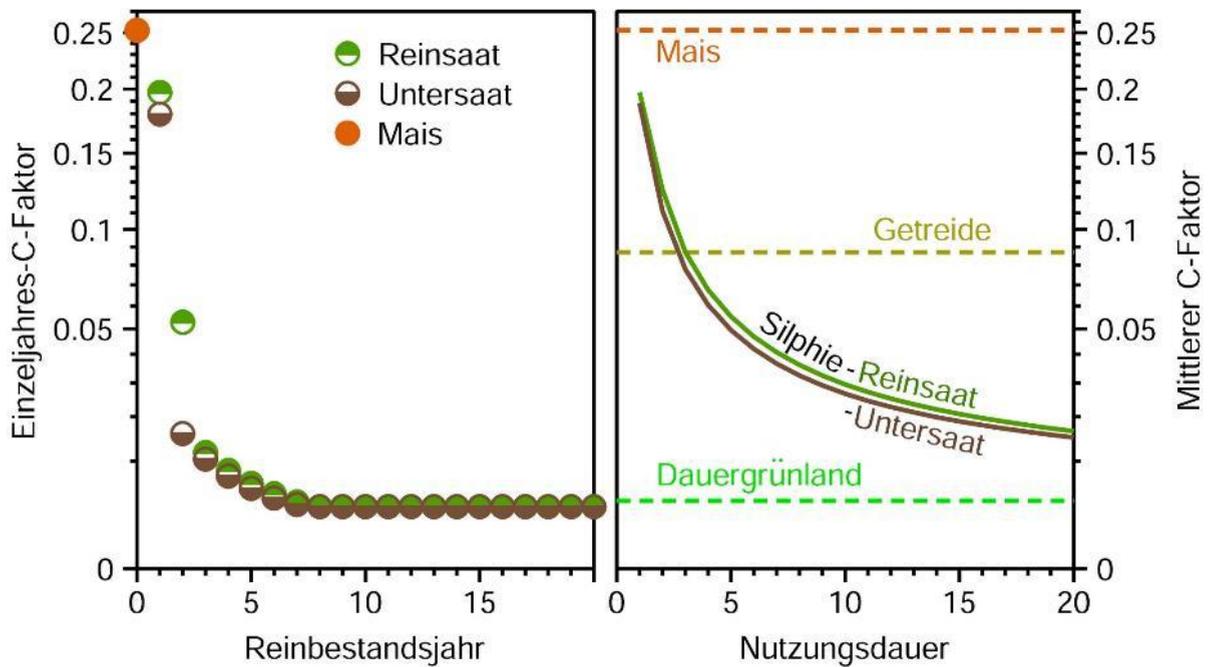


Abbildung 66: C-Faktoren von *S. perfoliatum* bei Etablierung durch Reinsaat oder als Untersaat unter Mais; die y-Achsen sind quadratewurzelkaliert, um die Auflösung bei geringen Werten zu vergrößern; links: Einzeljahres-C-Faktoren; der gefüllte Kreis ist der mittlere C-Faktor von Mais nach AUERSWALD et al. (2021) [1], der auch für das Untersaatjahr angenommen werden kann; rechts: gemittelt über die Nutzungsdauer in Abhängigkeit vom Anbauverfahren. Das Maisjahr bei Etablierung durch Untersaat ging in die Mittelung nicht ein. Zum Vergleich sind die C-Faktoren von reinem, konventionellem Maisanbau, reinem Getreideanbau und Dauergrünland als horizontale gestrichelte Linien angegeben (Mais und Getreide aus AUERSWALD et al., 2021 [1]; Grünland aus WISCHMEIER UND SMITH, 1978 [26] bzw. AUERSWALD UND SCHMIDT, 1986 [4])

Die hier verwendeten Daten stammen überwiegend aus den Jahren 2018 und 2019, die beide sehr trocken waren. Dadurch waren Feldaufgang und Pflanzenentwicklung schlechter als in Jahren mit günstiger Witterung. Die hier berechneten C-Faktoren sind daher eher pessimistisch, wobei eine mögliche Überschätzung von C in Anbetracht der sehr niedrigen C-Faktoren nicht groß sein kann. Andererseits gibt es auch Fälle, in denen die Unkrautentwicklung so stark war, dass eine mechanische Unkrautbekämpfung notwendig wurde, was Einfluss auf *PLU* hat. In diesem Fall wäre mit höheren C-Faktoren zu rechnen. Es bestehen daher Unsicherheiten, die aus dem Verfahren der Berechnung, den Unterschieden zwischen Standorten, Bewirtschaftern und den klimatischen Bedingungen besonders in der Etablierungsphase resultieren.

Die Versuche decken trotz der großen Vielfalt nur ein kleines und in gewisser Weise inkonsistentes Spektrum ab: Die Exaktversuche fanden nur im Raum Straubing statt und die Untersaatvarianten begannen zufälligerweise in ausgesprochenen Trockenjahren; die alten Bestände wurden mit anderen Verfahren als den gegenwärtig üblichen etabliert; die Reinsaatbestände hatten einen Reihenabstand von 37,5 cm, die Untersaatbestände einen

von 75 cm. Da der Silphie-Anbau relativ neu ist, könnte sich auch am Anbauverfahren und vor allem züchterisch noch etwas ändern. Trotz dieser scheinbar großen Einschränkungen dürften die hier ermittelten C-Faktor relativ stabil sein und auch längerfristig verwendbar bleiben. Dies liegt zum einen daran, dass ein zweifach guter Schutz vorhanden ist: einerseits durch das dichte Wurzelwerk, andererseits durch das dichte Blätterdach. Damit wären sehr große Änderungen in Durchwurzelung oder Bewuchs notwendig, um den Schutz wesentlich zu verändern. Auch wirken sich Änderungen in der Etablierung, die am ehesten zu erwarten sind, wegen der langen Kulturdauer relativ gering aus. Selbst die beiden stark unterschiedlichen Verfahren Reinsaat und Untersaat führen praktisch zu identischen C-Faktoren.

Die größte Unsicherheit dürfte daher in der Nutzungsdauer liegen, die bei der Anlage eines Bestandes nicht bekannt ist, auch wenn eine langjährige Nutzung beabsichtigt ist. Für eine Planung oder Beratung sollte aus Vorsichtsgründen von einer nur zehnjährigen Nutzung und einem C-Faktor von 0,03 ausgegangen werden. Bei 20-jährigem Anbau würde sich der Wert in etwa halbieren. Der mittlere C-Faktor im Ackerbau in Deutschland beträgt 0,124 und in Bayern 0,132 (AUERSWALD et al. 2021 [1]). Der C-Faktor von Silphie und damit auch der Abtrag belaufen sich bei zehnjährigem Anbau daher nur auf ca. ein Viertel des Mittels bayerischer Ackerflächen. So niedrige C-Faktoren können im konventionellen Ackerbau nicht und bei organisch wirtschaftenden Betrieben nur in Ausnahmefällen erreicht werden. Der Anbau von *S. perfoliatum* bietet daher beiden Betriebstypen die Möglichkeit, einen überdurchschnittlichen Erosionsschutz mit weiteren Vorteilen wie eine verringerte Arbeitsbelastung und eine größere Vielfalt der Ackerkulturen zu kombinieren.

Da nach der Etablierungsphase im Normalfall nur eine flache Unkrautbekämpfung maximal in den ersten Jahren notwendig ist, bei der nur wenig Boden bewegt wird, dürfte auch die Bearbeitungserosion gering sein. Geht man davon aus, dass Bearbeitungserosion etwa gleich viel zum Gesamtabtrag beiträgt wie die Erosion bei Starkregen, auch wenn das Verhältnis der beiden Erosionsformen je nach Standortbedingungen in einem weiten Verhältnis variiert (SCHIMMACK et al. 2002 [20]; ÖTTL et al. 2021 [18]), dürfte daher der Anbau von Silphie den Gesamtbodenabtrag auf etwa ein Achtel gegenüber konventionellem Ackerbau senken.

7 Anbauhinweise für die Praxis

Die Durchwachsene Silphie ist aufgrund ihres hohen Flächenertrags und ihrer ökologischen Vorteile eine vielversprechende Kultur zur Erzeugung von Biogas. Zu den Vorteilen der Silphie als Dauerkultur zählt unter anderem, dass die jährliche Bodenbearbeitung entfällt und dadurch eine lange Bodenruhe erreicht wird. Aufgrund der langen Standzeit der Silphie und der guten Durchwurzelung wird viel Kohlenstoff in den Boden eingebracht, der den Bodenlebewesen als Nahrung dient und zum Humusaufbau beiträgt. Aus den genannten Gründen leistet die Kultur damit einen wertvollen Beitrag zum Erosions- und Gewässersergewässerschutz.

Für die Etablierung ist ein lockeres, feinkrümeliges und unkrautfreies **Saatbett** erforderlich. Die Bodenlockerung sollte so flach wie möglich erfolgen. Die Saattiefe ist dabei wie folgt zu wählen:

- üblicherweise 1 cm,
- bei drohender Trockenheit bis maximal 2 cm Bodentiefe ablegen,
- bei drohender Verschlammung ist möglichst flacher als 1 cm abzulegen.

Die Saat ist für die Silphie mittlerweile gängige Praxis und eine teure Pflanzung somit nicht mehr notwendig. Neben der **Etablierung** als Reinsaat kann die Aussaat auch als Untersaat unter der Deckfrucht Mais erfolgen. Die Reinsaat ermöglicht ein rasches Hochwachsen, führt zu höheren Pflanzen, früherem Reihenschluss und damit zu einer höheren Biomassebildung. Mit Mais als Deckfrucht kann im sonst ertraglosen ersten Anbaujahr der Silphie ein Maisertrag von 50 bis 80 % des standortüblichen Ertrags erzielt werden. Bei der Etablierung als Untersaat ist die Maisbestandesdichte auf fünf bis sechs Pflanzen zu reduzieren, damit die Silphie ausreichend Licht erhält. In besonders trockenen Jahren ist die Reinsaat im Vorteil gegenüber der Etablierung in Untersaat. Silphie verträgt die Trockenheit etwas besser als die klassischen Ackerkulturen, benötigt für einen hohen Ertrag aber ebenfalls viel Wasser.

Die **Aussaat** der Silphie erfolgt mittels Einzelkorn- oder Drillmaschinen, eine gleichmäßige Einhaltung der Ablagetiefe und guter Bodenanschluss sind entscheidend. Den besten Erfolg erzielen Säegeräte mit einer in der Särille nachlaufenden, schmalen Andruckrolle. Eine den Säscharen vorauslaufende Andruck- oder Packerrolle zeigt ebenfalls gute Wirkung.

Um einen dichten, gleichmäßigen Bestand von mindestens vier Pflanzen je Quadratmeter (Zielbestandesdichte) zu erreichen, sind Saatmengen von 2,3 bis 3,8 kg/ha erforderlich, was einer **Aussaatdichte** von 15 bis 25 keimfähigen Körnern je Quadratmeter entspricht. Höhere Aussaatdichten führen zu höheren Erträgen. Eine Aussaat mit 35 keimfähigen Körnern je Quadratmeter ist aufgrund hoher Saatkosten nicht sinnvoll. Dünnere Bestände (geringe Saatmenge) benötigen länger bis zur vollen Ertragsleistung.

Der **Reihenabstand** liegt zwischen 37,5 und 75 cm (Letzteres bei Untersaat unter Mais durch die alternierenden Reihen). Reihenweiten von 37,5 und 50 cm vereinen schnellstmöglichen Reihenschluss mit gutem Hackgeräteeinsatz. Ein Reihenabstand von 37,5 cm zeigt sich überwiegend dichter und unproblematisch gegenüber einer möglichen Ver-

unkrautung. Ein Reihenabstand von 75 cm sollte nur auf guten Standorten gewählt werden.

Da die Silphie besonders im Etablierungsjahr eine zögerliche Jugendentwicklung aufweist, sind **Pflanzenschutzmaßnahmen** erforderlich, um den Etablierungserfolg sicherzustellen. Besonders in den ersten Jahren nach der Etablierung ist eine gute Bestandespflege sehr wichtig, damit sich ein guter Bestand entwickeln kann. Bei einer entsprechend starken Verunkrautung ist der einfachste und sicherste Weg zu deren Bekämpfung der Einsatz eines Hackgeräts, eines Rollkulis oder am besten einer Reihenfräse. Letztere ist insbesondere bei sehr dichter Verunkrautung, vielen Unkraut-Altplanzen, kräftiger Maisreststoppel, lagernden, umgedrückten oder abgebrochenen Pflanzen oder Trieben sowie bei problematischer Verunkrautung wie Disteln hervorragend geeignet. Außerdem schafft eine Reihenfräse auch eine gute Eliminierung von Ungras, was Hackgerät oder Rollkuli nicht können. Frühe Einsätze der Geräte sind bei der Silphie erforderlich, um eine rasche Jugendentwicklung zu unterstützen. Zusätzlich sollte auch noch ein später Termin als Abschlussmaßnahme eingeplant werden, um das Überwachsen und Unterdrücken des Unkrauts mit Reihenschluss bestmöglich zu gewährleisten. Bei gut terminiertem letzten Einsatz einer Fräse oder Hacke zieht die Silphie dann rasch zu und entzieht den Unkräutern das notwendige Licht für deren schädigenden Aufwuchs. Frühe Einsätze sind von der Unkrautdicke abhängig. Sie müssen frühzeitig genug angesetzt werden, um der Silphie den Konkurrenzdruck zu nehmen und die Funktion des Hackgeräts sicherzustellen. Eventuell sind mehrere Termine bis zur Abschlussmaßnahme erforderlich. Beim mechanischen Pflanzenschutz mit der Hacke ist die Silphie in frühen Entwicklungsstadien sehr empfindlich gegen Verschütten. Der Einsatz von Schutzblechen, Hohlscheiben und Winkelscharen kann dies verhindern. Beim späten Termin gleiten die Silphie-Pflanzen gerade noch unter dem Schlepper und dem Gerät durch. Die Pflanzen dürfen dabei auch leicht umgedrückt werden, sie sollten nur nicht knicken oder abreißen. Gegebenenfalls sollte der Einsatz in den Abend verlegt werden, wenn die Pflanzen einen geringeren Turgor haben und dadurch elastischer sind. Schnelles Fahren ist hier nicht mehr möglich. Die Durchgangshöhe bei Gerät und Schlepper begrenzt die Terminwahl. Zur chemischen Unkraut- bzw. Ungrasbekämpfung stehen verschiedene Pflanzenschutzmittel zur Verfügung. Vor dem Einsatz von Graminiziden ist jedoch nach § 22 Abs. 2 Pflanzenschutzgesetz eine Genehmigung im Einzelfall bei der zuständigen Landesbehörde einzuholen (für Bayern: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz). Die Verungrasung darf nicht unterschätzt werden, es sollten rechtzeitig geeignete Maßnahmen ergriffen werden. Eine Entscheidungshilfe dazu ist in Abschnitt 4.1.3 in Abbildung 19 (Seite 58) dargestellt.

Die **N-Düngung** (Stickstoff) richtet sich nach dem N-Bedarfswert der Silphie zu Beginn jedes Vegetationsjahrs und beträgt in Abhängigkeit von der Ertragserwartung 130 bis 160 kg N/ha. Dabei fällt Silphie in die Kategorie Ackerfutter, wobei keine N_{\min} -Beprobung erfolgen muss. Bei der Etablierung in Reinsaat darf im Etablierungsjahr eine Startdüngung von 50 kg N je Hektar erfolgen, obwohl im ersten Jahr keine Ernte erfolgt (aktuelle Ausnahmeregelung). Bei einem Ertragsniveau von 150 dt/ha ist mit Entzügen von 60 bis 70 kg P_2O_5 /ha, 240 bis 300 kg K_2O /ha und 85 bis 115 kg MgO /ha sowie 280 bis 420 kg CaO /ha zu rechnen.

Bei Fehlflächen im Bestand sollte eine **Flächensanierung** erfolgen. Welche Methoden zur Flächensanierung auszuwählen und wann diese Maßnahmen geeignet sind, wenn Lücken im Bestand entstehen, ist im Folgenden aufgeführt: Sobald ein lückiger Bereich größer als 25 m² erkennbar ist, sollten Sanierungsmaßnahmen eingeleitet werden, ab 100 m² sollte keinesfalls gezögert werden. Lücken, die weniger als zwei Reihen breit und zwei Meter lang sind, können nicht wirkungsvoll durch Nachsaat geschlossen werden, da die Jungpflanzen von den Altpflanzen stark unterdrückt werden. Ein händisches Umsetzen von Altpflanzen aus anderen Feldbereichen ist in Betracht zu ziehen. Ab welcher Größe der Traktor mit Sämaschine für die Nachsaat zur Anwendung kommt, liegt im Ermessensbereich des Flächenbewirtschafters. Zur Anwendung zugelassene Herbizide sind in ihrer Wirksamkeit oft unzureichend, da das Entwicklungsstadium des Unkrauts häufig zu weit fortgeschritten ist und es nicht ausreichend erfasst wird. Oder die Herbizide sind unwirksam, da bereits eine Selektion von Pflanzen mit geringer oder fehlender Sensibilität gegenüber dem verwendeten Wirkstoff erfolgte (Verschiebung der Unkrautflora hin zu den Arten, die durch Wirkungslücken der Herbizide nicht erfasst werden). Kleine Silphie-Pflanzen können beim Hacken leicht verschüttet werden und in der Folge absterben. Eine Verwendung von Schutzblechen und -scheiben ist zwingend notwendig, um dies zu verhindern.

Standorte in **Waldrandlagen** (Waldschatten) besitzen einen förderlichen Einfluss auf den Feldaufgang von Silphie. Allerdings kommt es im Verlauf der weiteren Bestandesentwicklung zu einem negativen Einfluss durch Beschattung, fehlendes Licht/Einstrahlung und ggf. Konkurrenz um das wenige verfügbare Wasser. Waldrandlagen sind auf Dauer ertragsschwächer, allerdings sind keine nennenswerten Schäden durch Wildschweine zu beobachten.

Zusammenfassung

Die Durchwachsene Silphie ist wegen ihrer hohen Ertragsleistung und ihrer ökologischen Vorteile eine vielversprechende Dauerkultur zur Erzeugung von Biogas. In der Projektregion wurden auf 100 ha Praxisflächen etabliert, um relevante Erfahrungen für den Silphie-Anbau zu gewinnen. Neben den Praxisflächen wurden auch Schauflächen angelegt.

Der Etablierungserfolg der Flächen, die im Jahr 2017 etabliert worden sind, wurde insgesamt als sehr gut eingestuft. Begünstigt wurde dieser Erfolg durch die regnerische und kühle Periode nach der Aussaat. Einige Flächen, die im Jahr 2018 angesät wurden, waren durch die ausgeprägte und anhaltende Trockenheit als problematisch anzusehen, da der Feldaufgang, die Herbizidwirkung und die Pflanzenentwicklung schlecht waren. Einige dieser Flächen wurden im Jahr 2019 nachgesät. Allerdings zeigte sich auch das Jahr 2019 als sehr trocken und heiß, sodass die Bestandesentwicklung auf den im Jahr 2017 etablierten Flächen sehr unterschiedlich ausfiel. Einige Flächen wiesen einen exzellenten Entwicklungsstand auf, zeigten aber ebenso Anzeichen von Trockenstress. Die Verunkrautung fiel in diesem Jahr ebenfalls sehr unterschiedlich aus, von sauberen Beständen bis hin zu Flächen mit inakzeptabler Verunkrautung. Insgesamt war ein sehr guter Erfolg der mechanischen Unkrautbekämpfung mittels Hackgerät auf den im Jahr 2017 angelegten Flächen zu verzeichnen. Die Trockenheit im Jahr 2019 führte bei den im Jahr 2018 etablierten Flächen zu deutlich stärkeren Wachstumsdepressionen und zunehmender Verunkrautung. Hier halfen weder Düngung noch der Einsatz von Hackgeräten, um die Wuchsbedingungen zu verbessern. Viele Flächen wurden nachgesät und einige Flächen notbeerntet, um die Verunkrautung einzudämmen. Diese Maßnahmen und das übliche Fräsen zeigten im Jahr 2020 erste Erfolge, sodass sich fast überall üppige Bestände mit guten Erträgen entwickelten. Im Jahr 2021 befand sich etwas mehr als die Hälfte der Bestände, die im Jahr 2017 angelegt worden waren, an ihrem standortspezifischen Optimum. Durch die wiederholten und hohen Niederschläge im Jahr 2021 konnten die im Jahr 2018 angelegten Bestände weiter aufholen und lieferten gute Erträge. Die erneute Trockenheit im Jahr 2022 führte allerdings zu einer geringeren Biomassebildung im Vergleich mit den beiden vorherigen Jahren, sodass sich die Güte der Silphie-Bestände insgesamt verschlechterte. Auf Flächen mit einem Reihenabstand von 75 cm schaffte es die Silphie oft nicht, die Reihen zu schließen und einen dichten Bestand zu bilden. In der Folge stiegen Unkraut- und Ungrasaufkommen wieder an. Im Jahr 2023 konnten sich die Bestände im Durchschnitt im Vergleich zum Vorjahr leicht kräftigen. Das Frühjahr zeigte sich sehr niederschlagsreich. Allerdings stellte sich ab Mitte Mai eine zweimonatige Trockenperiode ein, die das Wachstum bremste. Der Besatz der Flächen mit Ungräsern war weiterhin hoch. Viele Landwirte führten keine gezielte Bekämpfung durch. Durch die hohen Niederschlagssummen in der ersten Jahreshälfte 2024 konnten sich auf vielen Standorten sehr üppige Bestände entwickeln.

Unkräuter und Ungräser können durch mechanische und/oder chemische Maßnahmen bekämpft werden. Zur mechanischen Bekämpfung können Hackgeräte, Rollkulis oder Reihenfräsen eingesetzt werden. Letzteres Gerät ist auch bei sehr starker Verunkrautung hervorragend geeignet. Die Geräte sollten möglichst früh eingesetzt werden, um die

Silphie in ihrer Entwicklung zu unterstützen. Außerdem ist ein später Termin zum Reihenschluss als Abschlussmaßnahme gegen Unkräuter zu empfehlen. Zur chemischen Bekämpfung stehen verschiedene Herbizide zur Auswahl. Pflanzenschutzmittel mit Bodenwirkung sollten möglichst auf feuchten Boden unmittelbar nach der Saat appliziert werden. Eine Unkrautbekämpfung im Herbst mit Bodenherbiziden ist schwierig. Beim Einsatz von Gräsermitteln ist zu entscheiden, welches Ungras primär zu bekämpfen ist. Für eine gute Wirkung der Mittel ist darauf zu achten, dass zum Anwendungszeitpunkt gute Wachstumsbedingungen vorherrschen. Da kein Gräsermittel eine Zulassung in Silphie besitzt, ist immer eine Einzelfallgenehmigung nach § 22 Abs. 2 Pflanzenschutzgesetz einzuholen.

Auf der Schaufläche der Landwirtschaftlichen Lehranstalten Bayreuth (Etablierungs- und Pflegevarianten) zeigte sich der Erfolg der Reihenfräse zur Unkrautbekämpfung (Reduktion der Disteln über 90 % und anderer Unkräuter zu über 95 %). Dies war auch an den Erträgen erkennbar. Bei der Etablierung unter Deckfrucht Mais zeigte die Drillsaat an diesem Standort Ertragsvorteile gegenüber der Einzelkornsaat. Die Leistung der Reinsaat war ebenfalls sehr positiv. Beim Vergleich der Pflanzvarianten mit den Saatvarianten war kein Vorteil für die teurere Pflanzung erkennbar. Die unterschiedlichen Varianten näherten sich im Laufe der Jahre in ihrer Ertragsleistung einander an und erreichten das standortspezifische Optimum.

Auf der Schaufläche in Windischgailenreuth (Saatechniken und Ansaatdichten) war ebenfalls die positive Wirkung der Reinsaat erkennbar. Bei der Etablierung als Untersaat in Mais zeigte hier die Einzelkornsaat leichte Vorteile bei Betrachtung der Erträge im Vergleich zur Drillsaat. Bei Bewertung der Saatlängen führten höhere Aussaatdichten tendenziell zu höheren Erträgen, wobei im Jahr 2018 nur ein geringer und im Jahr 2019 kein Einfluss der Saatlänge feststellbar war. Im Jahr 2021 befanden sich alle Varianten zunehmend am standortspezifischen Ertragsoptimum.

Die Schaufläche in Speichersdorf (Pflanzdichten) wies höhere Erträge bei Pflanzung mit vier Pflanzen/m² im Vergleich zur Pflanzung mit zwei Pflanzen/m² auf. Dünnere Bestände benötigen etwas länger bis zur vollen Ertragsleistung. Dies war ebenfalls auf den Standorten in Bayreuth und Windischgailenreuth ersichtlich. Die Etablierung der Silphie über die Saat ist allerdings mittlerweile die gängige Praxis.

Auf der Schaufläche in Brunn wurde der Einfluss des Waldrands untersucht. Es konnte ein förderlicher Einfluss auf den Feldaufgang der Silphie im Waldschatten festgestellt werden. Im weiteren Entwicklungsverlauf wandelte sich der positive Einfluss für die Bereiche im Waldschatten hingegen in einen negativen Effekt um. Im Jahr 2019 ergaben sich Ertragseinbußen im Waldschatten von 25 %. Allerdings treten in Waldrandlagen keine nennenswerten Schäden durch Wildschweine in der Silphie auf.

Auf der Schaufläche in Lessau sollten verschiedene Verfahren zur Unkrautkontrolle geprüft werden. Da der Landwirt allerdings erst sehr spät hackte und damit weitere mechanische Maßnahmen wenig erfolgsversprechend waren, wurde lediglich die Etablierung der Silphie als Untersaat mit der Etablierung als Reinsaat verglichen. Die Reinsaat machte im Jahr 2018 einen besseren und üppigeren Eindruck als die Untersaat. Im Jahr 2019 (zwei-

tes Ertragsjahr) zeigte sich ein Ertragsvorteil der Reinsaat von 7 %. Auch in den folgenden Jahren wies die Variante in Reinsaat optisch einen üppigeren Bestand auf.

Die Schaufläche in Buttenheim sollte die Wirkung eines Hackgeräts zu unterschiedlichen Terminen veranschaulichen. Im Jahr 2018 waren keine Unterschiede der verschiedenen Maßnahmen erkennbar, was auf die extreme Trockenheit zurückgeführt wurde. Aufgrund der erneuten Trockenheit im Jahr 2019 und der sehr schütterten Bestände wurde von einer Ernte abgesehen. Die Verunkrautung mit Hühnerhirse stieg in diesem Jahr stark an. Der wiederholt schwache Aufwuchs im Jahr 2020 mit einem extremen Auftreten von Kompasslattich ließ den Versuch scheitern.

Die Ergebnisse der Batchuntersuchungen zeigten, dass die durchschnittliche Biogasausbeute der Silphie in den Jahren 2018 bis 2021 zwischen 472 und 529 l_N/kg oTS und die Methanausbeuten zwischen 254 und 290 l_N/kg oTS lagen. Dies entspricht Angaben aus der Literatur, wobei die Schwankungen nicht mit der Bestandeseigenschaft, wie z. B. Verunkrautung oder Abreife, korrelierten. Bei den Methanerträgen je Hektar war erkennbar, dass diese (bis auf eine Ausnahme) auf unterschiedlichen Standorten im Laufe der Jahre zunahmen. Geht man davon aus, dass die Silphie 50–75 % der Methanerträge von Silomais erreicht, dann liegen die bisher in der Projektregion ermittelten Werte der Silphie eher im unteren bis mittleren Bereich. Allerdings hängen die Biomasseerträge der Silphie stark von Standort und Zustand der Bestände ab.

Neben dem Einsatz als Biogassubstrat wird auch eine Verfütterung der Silphie immer wieder diskutiert. Aus diesem Grund wurden Verdauungsversuche durchgeführt. Die Daten zur Verdaulichkeit zeigten, dass Silphie nur einen geringen Futterwert aufweist, der mit dem von Stroh vergleichbar ist. Eine sinnvolle Einbindung in Rationen für hochleistende Wiederkäuer ist dementsprechend nicht möglich.

Die Erosionswirksamkeit von Durchwachsener Silphie bei erosiven Starkregen wurde auf mehreren Standorten in unterschiedlich alten Beständen bestimmt. Unter Silphie beträgt der Bodenabtrag durch Starkregen bei mindestens zehnjährigem Anbau weniger als ein Viertel dessen, was bei (mittlerem) konventionellem Ackerbau zu erwarten wäre. Der Abtrag ist deutlich niedriger als unter reinem Getreideanbau, erreicht wegen der stärkeren Gefährdung in den ersten Jahren nach dem Etablierungsjahr aber nicht das niedrige Niveau von Grünland. Ein großer Teil dieser Wirkung ist auf die Bodenkonsolidierung und die intensive Durchwurzelung des Oberbodens zurückzuführen. Gleichzeitig tritt nach der Etablierungsphase auch keine Bodenverlagerung durch eine Bodenbearbeitung auf, so dass als Faustzahl davon ausgegangen werden kann, dass der Bodenverlust durch den Anbau von Silphie auf etwa ein Achtel gesenkt wird. Die Aussagen gelten gleichermaßen für Silphie-Bestände, die durch Reinsaat oder durch Untersaat unter Mais etabliert wurden.

Quellenverzeichnis

- [1] AUERSWALD, K.; EBERTSEDER, F.; LEVIN, K.; YUAN, Y.; PRASUHN, V.; PLAMBECK, N. O.; MENZEL, A.; KAINZ, M. (2021): Summable C factors for contemporary soil use. *Soil & Tillage Research*, Bd. 213, Nr. 12, 105155, S. 1–12
- [2] AUERSWALD, K.; FISCHER, F. K.; WINTERRATH, T.; BRANDHUBER, R. (2019): Rain erosivity map for Germany derived from contiguous radar rain data. *Hydrology and Earth System Sciences*, Bd. 23, Nr. 4, S. 1819–1832
- [3] AUERSWALD, K.; KAINZ, M. (1998): Erosionsgefährdung (C-Faktor) durch Sonderkulturen. *Bodenschutz*, Bd. 3, Nr. 2, S. 98–102
- [4] AUERSWALD, K.; SCHMIDT, F. (1986): Atlas der Erosionsgefährdung in Bayern. Karten zum flächenhaften Bodenabtrag durch Regen. Bayerisches Geologisches Landesamt München. GLA-Fachberichte, Nr. 1, S. 74
- [5] AUERSWALD, K.; SCHWAB, A. (1999): Erosionsgefährdung (C-Faktor) unterschiedlich bewirtschafteter Weinanbauflächen. *Wein-Wissenschaft*, Bd. 54, Nr. 2–3, S. 54–60
- [6] BGR (2020): Die bodenartenspezifischen Kennwerte der KA5. https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Netzwerke/AGBoden/Downloads/KA5_bodenspezKennwerte.pdf;jsessionid=FC153544DFA5DD3A41BBB5913942D083.2_cid292?__blob=publicationFile&v=2 (letzter Aufruf: 24.09.2020)
- [7] BIERTÜMPFEL, A. (2015): Prüfung der Anbau- und Verwertungseignung alternativer Biogaspflanzen unter Thüringer Bedingungen. *Schriftenreihe Landwirtschaft und Landschaftspflege in Thüringen*, Heft 1, S. 94
- [8] CUMPLIDO-MARIN, L.; GRAVES, A. R.; BURGESS, P. J.; MORHART, C.; PARIS, P.; JABLONOWSKI, N. D.; FACCIOTTO, G.; BURY, M.; MARTENS, R.; NAHM, M. (2020): Two novel energy crops: *Sida hermaphrodita* (L.) Rusby and *Silphium perfoliatum* L. State of knowledge. *Agronomy*, Bd. 10, Nr. 7, 928, S. 1–66
- [9] DE ALBA, S.; LINDSTROM, M.; SCHUMACHER, T. E.; MALO, D. D. (2004): Soil landscape evolution due to soil redistribution by tillage; a new conceptual model of soil catena evolution in agricultural landscapes. *Catena*, Bd. 58, Nr. 1, S. 77–100
- [10] DIN – DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (2017): DIN 19708:2017-08 Bodenbeschaffenheit – Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG. Berlin, Deutschland
- [11] FÖRSTER, L.; BURMEISTER, J.; WALTER, R.; EBERTSEDER, F.; WIESMEIER, M.; SOLBACH, J.; PARZEFALL, S.; HARTMANN, A.; FRITZ, M. (2021): Ertragsstabilität, Etablierung und Umweltparameter mehrjähriger Energiepflanzen – Dauerkulturen II. Projektpartner: LfL Agrarökologie, LfL Tier und Technik. April 2021. Berichte aus dem TFZ, Nr. 71. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 304 Seiten, ISSN 1614-1008
- [12] FOSTER, G. R.; YODER, D. C.; WEESIES, G. A.; MCCOOL, D. K.; MCGREGOR, K. C.; BINGNER, R. L. (2003): User's guide – revised universal soil loss equation version 2 (RUSLE2). December 31, 2002 (published 2003). United States, Department of Agriculture, Agricultural Research Service (Hrsg.). Washington, D.C., 163 Seiten

- [13] FRITZ, M.; ETTLE, T. (2018): Beispielhafter Silphieanbau auf 100 Hektar Praxisfläche. TFZ begleitet Demonstrationsvorhaben in Oberfranken. Schule und Beratung, Nr. 10, S. 19–20
- [14] GANSBERGER, M.; MONTGOMERY, L. F. R.; LIEBHARD, P. (2015): Botanical characteristics, crop management and potential of *Silphium perfoliatum* L. as a renewable resource for biogas production: A review. *Industrial Crops and Products*, Bd. 63, Nr. 1, S. 362–372
- [15] GRUNWALD, D.; PANTEN, K.; SCHWARZ, A.; BISCHOFF, W.-A.; SCHITTENHELM, S. (2020): Comparison of maize, permanent cup plant and a perennial grass mixture with regard to soil and water protection. *GCB Bioenergy*, Bd. 12, Nr. 9, S. 694–705
- [16] HARTMANN, A.; LUNENBERG, T. (2016): Ertragspotenzial der Durchwachsenen Silphie unter bayerischen Anbaubedingungen. In: SCHITTENHELM, S.; DAUBER, J.; SCHRADER, S. (Hrsg.): *Durchwachsene Silphie*. Themenheft. Vorträge und Poster der Fachtagung „Durchwachsene Silphie“ am 9. und 10. Mai 2016 im Forum des Thünen-Instituts in Braunschweig. *Journal für Kulturpflanzen*, Bd. 68, Nr. 12, S. 385–388
- [17] HERRMANN, C.; IDLER, C.; HEIERMANN, M. (2016): Biogas crops grown in energy crop rotations: Linking chemical composition and methane production characteristics. *Bioresource Technology*, Bd. 206, Nr. 4, S. 23–35
- [18] ÖTTL, L. K.; WILKEN, F.; AUERSWALD, K.; SOMMER, M.; WEHRHAN, M.; FIENER, P. (2021): Tillage erosion as an important driver of in-field biomass patterns in an intensively used hummocky landscape. *Land Degradation & Development*, Bd. 32, Nr. 10, S. 3077–3091
- [19] RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; MCCOOL, D. K.; YODER, D. C. (1997): *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)*. This publication supersedes Agriculture Handbook No. 537, titled “Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning”. Issued January 1997. United States, Department of Agriculture (Hrsg.). Washington, D.C. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, *Agriculture Handbook*, Nr. 703, 384 Seiten, ISBN 0-16-048938-5
- [20] SCHIMMACK, W.; AUERSWALD, K.; BUNZL, K. (2002): Estimation of soil erosion and deposition rates at an agricultural site in Bavaria, Germany, as derived from fallout radiocesium and plutonium as tracers. *Die Naturwissenschaften*, Bd. 89, Nr. 1, S. 43–46
- [21] SCHOO, B.; SCHROETTER, S.; KAGE, H.; SCHITTENHELM, S. (2017): Root traits of cup plant, maize and lucerne grass grown under different soil and soil moisture conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, Bd. 203, Nr. 5, S. 345–359
- [22] VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN (VDLUFA) (Hrsg.) (2011): *Methodenbuch VII Umweltanalytik – Bestimmung der Biogas- und Methanausbeute in Gärtests*. Abschnitt MB7-4.1.1., Grundwerk. Speyer: Verband Deutscher Untersuchungs- und Forschungsanstalten e. V. (VDLUFA), ISBN 978-3-941273-10-8
- [23] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI) (2006): *VDI-Richtlinie 4630 – Vergärung organischer Stoffe, Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche*. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure, 92 Seiten

- [24] VON GEHREN, P.; GANSBERGER, M.; MAYR, J.; LIEBHARD, P. (2016): The effect of sowing date and seed pretreatments on establishment of the energy plant *Silphium perfoliatum* by sowing. *Seed Science and Technology*, Bd. 44, Nr. 2, S. 310–319
- [25] WISCHMEIER, W. H. (1975): Estimating the soil loss equation's cover and management factor for undisturbed areas. In: ROBINSON, A. R.; UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, SEDIMENTATION LABORATORY (Hrsg.): Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources. Proceedings of the Sediment-Yield Workshop. Oxford, MS, USA, November 28–30, 1972. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-S-40 (June 1975). New Orleans, LA, USA: United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Southern Region, S. 118–124
- [26] WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. (1978/1981): Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. Supersedes Agriculture Handbook No. 282, Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains; December 1978. Metrication of the USLE in the international System of Units (SI), Supplement to Agriculture Handbook No. 537, January 1981. United States Department of Agriculture, Science and Education Administration, Purdue Agricultural Experiment Station (Hrsg.). Washington, D.C. United States Government Printing Office, Superintendent of Documents. United States Department of Agriculture, Science and Education Administration, Agriculture Handbook, Nr. 537, 61 Seiten
- [27] YODER, D. C.; PORTER, J. P.; LAFLEN, J. M.; SIMANTON, J. R.; RENARD, K. G.; MCCOOL, D. K.; FOSTER, G. R. (1997): Cover-Management Factor (C). Chapter 5. In: UNITED STATES, DEPARTMENT OF AGRICULTURE (Hrsg.): Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). This publication supersedes Agriculture Handbook No. 537, titled "Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning". Issued January 1997. Washington, D.C., United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Agriculture Handbook, 703, S. 167–205

Berichte aus dem TFZ

Bisher erschienene Ausgaben der Schriftenreihe des Technologie- und Förderzentrums:

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

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

- 42 Weiterentwicklung einer Siloabdeckung auf Basis Nachwachsender Rohstoffe
- 43 Brennstoffqualität von Holzpellets
- 44 Herstellung und Demonstration der Praxistauglichkeit von Traktoren mit Motoren der Abgasstufe IV im Betrieb mit Pflanzenöl
- 45 ExpRessBio – Methoden
- 46 Qualität von Holzhackschnitzeln in Bayern
- 47 Pflanzenöлтаugliche Traktoren der Abgasstufen I bis IIIB
- 48 Sorghum als Biogassubstrat – Präzisierung der Anbauempfehlungen für bayerische Anbaubedingungen
- 49 Zünd- und Verbrennungsverhalten alternativer Kraftstoffe
- 50 Rapsölkraftstoffproduktion in Bayern – Analyse und Bewertung ökologischer und ökonomischer Wirkungen nach der ExpRessBio-Methode
- 51 Emissions- und Betriebsverhalten eines Biomethantraktors mit Zündstrahlmotor
- 52 Schnellbestimmung des Wassergehalts von Holzhackschnitzeln
- 53 Bioenergieträger mit Blühaspekt: Leguminosen-Getreide-Gemenge
- 54 Dauerkulturen – Aufzeigen der bayernweiten Anbaueignung
- 55 Lagerung von Holzhackschnitzeln
- 56 Holzhackschnitzel aus dem Kurzumtrieb
- 57 Optimierungspotenziale bei Kaminöfen – Emissionen, Wirkungsgrad und Wärmeverluste
- 58 Überführung einer Siloabdeckung auf Basis Nachwachsender Rohstoffe in die Praxisreife
- 59 Regionalspezifische Treibhausgasemissionen der Rapsverarbeitung in Bayern
- 60 Langzeitmonitoring pflanzenöлтаuglicher Traktoren der Abgasstufen I bis IV
- 61 Nutzereinflüsse auf die Emissionen aus Kaminöfen
- 62 Abgasverhalten von Fahrzeugen im realen Betrieb mit alternativen Kraftstoffen – Bestimmung mit einem portablen Emissionsmesssystem (PEMS)
- 63 Rapsölkraftstoff als Energieträger für den Betrieb eines forstwirtschaftlichen Vollernters (Harvester)
- 64 Amaranth als Biogassubstrat – Selektion zur Erarbeitung praxistauglicher Amaranthlinien für bayerische Standorte
- 65 Schwierige Pelletbrennstoffe für Kleinfeuerungsanlagen – Verbrennungstechnische Optimierung durch Additivierung und Mischung
- 66 Einflussfaktoren auf die NO_x-Emissionen in Hackschnitzelheizwerken zwischen 1 und 5 Megawatt

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

