

Hochschule Anhalt

Fachbereich Landwirtschaft, Ökotropologie und Landschaftsentwicklung



Masterarbeit

Bestandesentwicklung, Erträge und Futterqualitäten verschiedener Maisgemenge mit Stangenbohne, Sonnenblume und Sorghum im Vergleich zum solo angebauten Mais

| | |
|---------------|---|
| Name, Vorname | Hoffmann, Linda |
| Studiengang | Agrarmanagement – Master of Business Administration |

Gutachter:

- 1 Prof. Dr. Annette Deubel
- 2 Prof. Dr. Heiko Scholz

Bernburg (Saale), den 25.08.2024

Bibliographische Beschreibung

Name, Vorname: Hoffmann, Linda

Thema: Bestandesentwicklung, Erträge und Futterqualitäten
verschiedener Maisgemenge mit Stangenbohne, Sonnenblume und
Sorghum im Vergleich zum solo angebauten Mais

2024 / 100 Seiten / 31 Tabellen / 8 Abbildungen

Bernburg: Hochschule Anhalt

Fachbereich Landwirtschaft, Ökotropologie und
Landschaftsentwicklung

Autorreferat

In der vorliegenden Masterarbeit wurden die Auswirkungen des Anbaus von Mais in Kombination mit verschiedenen Gemengepartnern untersucht. Ziel der Studie war es, den Einfluss dieser Gemenge auf den Ertrag, den Boden und die Futterqualität zu bewerten.

Im Rahmen der Forschung wurde ein Feldversuch im Jahr 2023 angelegt, bei denen Mais in Kombination mit Stangenbohnen, Sonnenblumen und Sorghum angebaut wurde. Es wurden verschiedene Parameter zum Ertrag erfasst (Pflanzenlänge der Maispflanzen, Kolbengewichte, Frischmasseertrag). Zusätzlich wurden Bodenproben auf den N_{\min} -Gehalt, den pH-Wert und die Nährstoffe Stickstoff, Phosphor, Kalium und Magnesium, sowie der Humusgehalt untersucht. Nach der Beerntung wurden die frischen Proben im Labor auf ihre Inhaltsstoffe analysiert, gleichzeitig wurden Proben einsiliert. Untersucht wurden dabei die Parameter TS-Gehalt, Rohfett, Rohprotein, Stärke, Rohfaser, Faserfraktionen, ELOS, Energie (NEL), Kationen-Anionen-Bilanz (DCAB), Gärsäuremuster und Biogaserträge sowie Biogas- und Methanausbeuten. Die Ergebnisse wurden statistisch untersucht, um signifikante Unterschiede festzustellen.

Die Ergebnisse zeigten, dass im Gemengeanbau höheren Frischmasseerträge, durch die erhöhten Bestandesdichten, erreicht werden können. Während der Vegetation erwies sich, trotz der guten Niederschlagsverteilung, die Sonnenblume als starker Konkurrent für den Mais, was sich fortlaufend auch in den verminderten Erträgen und Futterqualitäten bemerkbar machte. Die Stangenbohne und das Sorghum zeigten keinen negativen Einfluss auf den Ertrag. Hinsichtlich der Kolbengewichte des Maises wurden in den Gemengen breitere Streuungen der Werte erfasst.

Bodenanalytisch konnten keine signifikanten Effekte der Gemengepartner auf die Bodennährstoffe, den pH-Wert oder Humusgehalt nachgewiesen werden. Die Stangenbohne ging als Leguminose keine Symbiose mit den Knöllchenbakterien ein, was den Nutzen der Stickstofffixierung verhinderte. Zu begründen ist dies mit den hohen Stickstoffgehalten im Boden.

Qualitative Vorteile zeigte das Mais-Stangenbohnen-Gemenge hinsichtlich erhöhter Rohproteingehalte. Die Gemenge mit Sonnenblumen und Sorghum erwiesen sich, durch erhöhte Rohasche-, Rohfett- und Fasergehalte sowie verminderte Energie- und Stärkegehalte, als qualitativ minderwertig im Vergleich zum solo angebauten Mais.

Die Gemenge zeigten keinen Einfluss auf den Silierprozess und das Gärsäuremuster.

Hinsichtlich der Biogaserträge und Methanausbeuten minimieren die Gemengepartner die Ergebnisse im Vergleich zum reinen Mais. In Hinblick auf die qualitativen Parameter sprechen die Ergebnisse des Versuches gegen einen Einsatz als Biogassubstrat des Mais-Sonnenblumen- und Mais-Sorghum-Gemenges.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Abkürzungsverzeichnis | I |
| Abbildungsverzeichnis | III |
| Tabellenverzeichnis | IV |
| 1 Einleitung | 1 |
| 2 Grundlagen zum Mais- und Mais-Gemengeanbau | 3 |
| 2.1 Bedeutung des Maisanbaus in Deutschland und Brandenburg | 3 |
| 2.2 Gesetzliche Rahmenbedingungen für den Mais- und Gemengeanbau in Deutschland und Brandenburg | 5 |
| 2.3 Anbaubedingungen und Richtwerte von Silomais und der Gemengepartner Stangenbohne, Sonnenblume und Sorghum | 8 |
| 2.3.1 Botanik | 8 |
| 2.3.2 Boden und Klima | 11 |
| 2.3.3 Aussaat und Vegetation | 14 |
| 2.3.4 Nährstoffmanagement | 16 |
| 2.3.5 Pflanzenschutz | 20 |
| 2.3.6 Ertragsparameter | 23 |
| 2.3.7 Rohnährstoffe | 23 |
| 2.3.8 Silierparameter | 30 |
| 2.3.9 Biogasproduktion | 31 |
| 2.4 Versuchsergebnisse zum Mais-Gemengeanbau | 35 |
| 3 Zielstellung | 42 |
| 4 Material und Methoden | 43 |
| 4.1 Standortbeschreibung und Aufbau des Versuches | 43 |
| 4.2 Datenerfassung | 46 |
| 4.2.1 Wetterdaten | 46 |
| 4.2.2 Bonitur | 47 |
| 4.2.3 Bodenuntersuchungen | 47 |
| 4.2.4 Erntedaten | 49 |
| 4.2.5 Silierung des Erntegutes | 49 |
| 4.3 Datenauswertung | 50 |

| | | |
|----------|--|------|
| 5 | Ergebnisse | 52 |
| 5.1 | Wetterdaten | 52 |
| 5.2 | Bonituren | 54 |
| 5.3 | Bodenanalysen | 57 |
| 5.4 | Ertragserfassung | 60 |
| 5.5 | Futteranalysen – Vergleich der Varianten | 63 |
| 5.6 | Futteranalysen – Vergleich innerhalb der Varianten | 68 |
| 6 | Diskussion | 70 |
| 6.1 | Politische Implikationen | 70 |
| 6.2 | Bewertung der botanischen Merkmale und Bestandesentwicklung | 71 |
| 6.3 | Standortbewertung zur Aussaat | 73 |
| 6.4 | Bewertung der Aussaat | 75 |
| 6.5 | Bewertung der klimatischen Bedingungen und Pflege des Feldversuches | 76 |
| 6.6 | Bewertung der Bodenanalyseergebnisse zur Ernte | 78 |
| 6.7 | Bewertung der Erträge | 81 |
| 6.8 | Bewertung der Futterqualitäten | 84 |
| 6.9 | Bewertung der Silierparameter und Biogasproduktion | 93 |
| 6.10 | Fehleranalyse | 95 |
| 7 | Schlussfolgerung | 99 |
| 8 | Zusammenfassung | 103 |
| | Abstract | 105 |
| | Literaturverzeichnis | VII |
| | Anhangsverzeichnis | XXII |
| | Anhang | XXIV |
| | Selbstständigkeitserklärung | |

Abkürzungsverzeichnis

| <i>Abkürzung</i> | <i>Bedeutung</i> |
|------------------|--|
| ADF | Acid Detergent Fibre / saure Detergenzienfaser |
| ADL | saures Detergenzlignin |
| ca. | circa |
| cm | Zentimeter |
| DCAB | Dietary Cation Anion Balance / Kationen-Anionen-Bilanz |
| dt | Dezitonne |
| DWD | Deutscher Wetterdienst |
| ELOS | Enzymlösliche organische Substanz |
| g | Gramm |
| GAB | Grundanforderungen an die Betriebsführung |
| GAP | Gemeinsame Agrarpolitik |
| GLÖZ | Guter landwirtschaftlicher und ökologischer Zustand |
| ha | Hektar |
| K | Kalium |
| kg | Kilogramm |
| l | Liter |
| InVeKoS | Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem |
| LKV | Landeskontrollverband |
| m | Meter |
| Max | Maximum |
| ME | Metabolize Energy / Umsetzbare Energie |
| meq | Milliäquivalent |
| mg | Milligramm |
| Mg | Magnesium |
| Min | Minimum |
| mind. | mindestens |
| MJ | Megajoul |
| MMA | Mastitis, Metritis, Agalaktie |
| m ² | Quadratmeter |
| N | Stickstoff |
| NDF | Neutral Detergent Fibre / neutrale Detergenzienfaser |
| NEL | Netto-Energie-Laktation |

| | |
|------------------|--|
| NFC | Non Fibre Carbohydrate / Nicht-Faser-Kohlenhydrate |
| nFk | nutzbare Feldkapazität |
| N _{min} | pflanzenverfügbare Stickstoffgehalt des Bodens |
| NS | Niederschlag |
| Nutzb. RP | Nutzbare Rohprotein |
| P | Phosphor |
| RNB | ruminale N-Bilanz |
| Temp. | Temperatur |
| TS | Trockensubstanz |
| °C | Grad Celsius |
| % | Prozent |

Abbildungsverzeichnis

| <i>Nr.</i> | <i>Bezeichnung</i> | <i>Seite</i> |
|------------|--|--------------|
| 1 | Ziele des neuen GAP-Strategieplans 2023 (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2024) | 5 |
| 2 | Vergleich der Korngröße und -form zwischen Mais, Stangenbohne, Sonnenblume und Sorghum; Gemenge-Mischungsverhältnis von 8:4 (eigene Darstellung) | 15 |
| 3 | Zusammensetzung der Faserfraktionen nach DE KRUIF, et al. (2014) | 26 |
| 4 | Versuchsaufbau des Feldversuches (eigene Darstellung) | 44 |
| 5 | Punkte der Probenahme für die Bodenanalyse in den Versuchspartellen (eigene Darstellung) | 48 |
| 6 | Pflanzenlänge der Maispflanze der Versuchsvarianten (eigene Darstellung) | 60 |
| 7 | Frischmasseerträge der Gemengekomponenten und Gesamt-TM-Ertrag (eigene Darstellung) | 61 |
| 8 | Kolbengewichte der Maispflanzen in den Versuchsvarianten (eigene Darstellung) | 62 |

Tabellenverzeichnis

| <i>Nr.</i> | <i>Bezeichnung</i> | <i>Seite</i> |
|------------|---|--------------|
| 1 | Ansprüche an den pH-Wert von Silomais, Stangenbohne, Sonnenblume und Sorghum (YARA, 2023a; GARDIFY, 2023; YARA, 2023c; FRITZ, 2023) | 12 |
| 2 | Humusgehaltstabelle (verändert nach THELEMANN, et al., 2024) | 13 |
| 3 | Tausendkorngewichte (TKG) von Silomais, Stangenbohne, Sonnenblume und Sorghum (KWS, 2023c; KWS, 2023d; ZAND, et al., 2021) | 14 |
| 4 | Ansprüche an die Bodentemperatur und Saattiefe von Silomais, Stangenbohne, Sonnenblume und Sorghum (DMK, 2024b; MEINE ERNTE, 2023; LIEBEGG, 2022; LIEBEGG, 2022a) | 15 |
| 5 | Transpirationskoeffizient von Silomais, Stangenbohne, Sonnenblume und Sorghum (DIEPENBROCK, et al., 2012) | 16 |
| 6 | Nährstoffbedarf von Silomais, Stangenbohnen, Sonnenblumen und Sorghum (BFJ, 2024; YARA, 2023a; YARA, 2023b; YARA, 2023c; WEINHAPPEL, et al., 2020a) | 19 |
| 7 | Stickstoffentzüge von Mais, Stangenbohne, Sonnenblume und Sorghum (ACHILLES, et al., 2018) | 19 |
| 8 | Beizausstattung der Versuchskulturen (REIFFEISEN, 2024; BLV, 2024) | 21 |
| 9 | Richtwerte der Faserfraktionen für Silomais (LKS nach MAHLKOW-NERGE, et al., 2021, RICHARDT, 2018, LUFA, 2023; LKV BB, 2024; RESCH, 2023) | 26 |
| 10 | Futtermittelrichtwerte Silomais (LKS, 2023; LUFA, 2023; SCHAUMANN, 2023) | 28 |
| 11 | Richtwerte der Kationen-Anionen-Bilanz für Silomais (HOFFMANN, 2021; ULBRICH, et al., 2004; ENGELHARD, 2018; JILG, 2021) | 30 |

| | | |
|----|--|----|
| 12 | Richtwerte der Gärsäurezusammensetzung für Silomais (SMUL, 2023; LUFA, 2023; LKV BB, 2024; LÜTKE-ENTRUP, et al., 2013) | 31 |
| 13 | Biogas- und Methanerträge in Mais, Sonnenblume und Sudangras (FNR, 2016) | 32 |
| 14 | TS-Gehalte und Gesamttrockenmasseerträge von Mais und den Gemengen Mais-Stangenbohne, Mais-Sonnenblume und Mais-Sorghum (verändert nach GRIMME (2024)) | 38 |
| 15 | Nährstoffgehalte in Mais- und Mais-Bohnen-Silagen (verändert nach JILG, et al. (2021)) | 38 |
| 16 | Ertrags- und NIRS-Ergebnisse vom Anbauversuch zu Mais und Mais-Stangenbohne im Jahr 2021 (verändert nach LFL (2021)) | 39 |
| 17 | Gärparameter von Mais- und Mais-Bohnen-Silage nach 90 Tagen Lagerdauer (verändert nach MEYER (2024)) | 40 |
| 18 | Bestandesdichten und Saatstärken der Varianten im Feldversuch (eigene Darstellung) | 45 |
| 19 | Durchschnittliche Jahrestemperaturen und -niederschläge am Standort Grünow zwischen 2012 und 2023 (WETTERKONTOR, 2023) | 52 |
| 20 | Monatliche Temperatur- und Niederschlagsmittelwerte am Standort Grünow zwischen 2012 und 2023 (WETTERKONTOR, 2023) | 53 |
| 21 | Temperaturverlauf und Niederschläge im Vegetationszeitraum des Feldversuches am Standort Grünow (WETTERKONTOR, 2023) | 54 |
| 22 | Anzahl der nachzulegenden Saatkörner und Kulturen je Variante (eigene Darstellung) | 55 |
| 23 | Unkrautdichte je m ² in den Varianten des Feldversuches (eigene Darstellung) | 55 |

| | | |
|----|---|----|
| 24 | Analysewerte der Bodenanalysen zur Aussaat und Ernte (eigene Darstellung) | 59 |
| 25 | Trockensubstanzgehalte der Versuchsvarianten (eigene Darstellung) | 62 |
| 26 | Kolben-Restpflanzen-Verhältnisse der Maispflanzen in den Varianten (eigene Darstellung) | 63 |
| 27 | Futterqualitätsparameter der frischen Maisproben (eigene Darstellung) | 65 |
| 28 | Futterqualitätsparameter der silierten Maisproben (eigene Darstellung) | 66 |
| 29 | Gärsäuremuster der silierten Maisproben (eigene Darstellung) | 67 |
| 30 | Biogas- und Methanerträge sowie Biogas- und Methausbeuten der silierten Maisproben (eigene Darstellung) | 68 |
| 31 | Futterqualitätsparameter der frischen Maisproben – Vergleich zwischen Mais und Gemenge innerhalb der Varianten (eigene Darstellung) | 69 |

1 Einleitung

„Es ist Zeit, auf Basis von Wissenschaft und Forschung neu zu denken – frei von Ideologie und Emotionen.“ (BAYER, 2022). Die moderne Landwirtschaft steht vor vielfältigen Herausforderungen, die von der Sicherstellung einer nachhaltigen Nahrungsproduktion, angesichts des ungebremsten Bevölkerungswachstums, bis zur Bewältigung der Auswirkungen des Klimawandels reichen. Mit der GAP-Reform 2023 stehen neben der Einkommensgrundstützung insbesondere Umwelt- und Klimaleistungen im Fokus (MLUK, 2024). Zu diesem Zweck wurde ein Standard „zum Guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand (GLÖZ)“ (TOPAGRAR, 2023) entwickelt, an den sich die Landwirte halten müssen, um Agrarförderungen zu erhalten (MLUK, 2024a).

„Die GLÖZ-Standards sollen verstärkt zum Klimaschutz, zur Anpassung an den Klimawandel, zur Bewältigung zahlreicher Probleme im Bereich Wasser, zum Schutz des Bodens sowie der Bodenqualität und zur Stärkung der Biodiversität beitragen.“ (MLUK, 2024a). Ein weiterer Aspekt sind die freiwillig umsetzbaren Öko-Regelungen (ÖR) innerhalb der 1. Säule (Direktzahlungen). Diese stehen „im Interesse des Klimas, der Umwelt, des Tierwohls oder der Bekämpfung antimikrobieller Resistenzen“ (MLUK, 2024b). Während sich die GLÖZ 7 dem Fruchtfolgewechsel widmet, beschäftigt sich die ÖR 2 mit dem Leguminosenanbau.

In diesem Kontext bieten innovative Ansätze wie der Anbau von Mischkulturen und der Mais-Gemengeanbau vielversprechende Alternativen. Diese ermöglichen nicht nur einen Fruchtfolgewechsel gemäß GLÖZ 7, sondern erweitern auch die Fruchtfolge nach ÖR 2.

Mais, als eine der bedeutendsten Kulturpflanzen weltweit, steht im Mittelpunkt vieler landwirtschaftlicher Systeme. Seine Attraktivität beruht auf hohen Züchtungserfolgen in Bezug auf Qualität und Ertrag, den „produkttechnischen Fortschritten, die ökonomische Vorzüglichkeit sowie den vielseitigen Verwendungsmöglichkeiten für die menschliche Ernährung, die Fütterung von Nutztieren und den stofflichen und energetischen Zwecken.“ (LÜTKE ENTRUP, et al., 2013).

Um den Herausforderungen der Nachhaltigkeit gerecht zu werden, werden zunehmend Ansätze erforscht, die den Maisanbau in Gemenge integrieren. Der Mais-Gemengeanbau, bei dem Mais mit anderen Pflanzen kombiniert wird, bietet nicht nur ökologische Vorteile, sondern hat auch das Potenzial, die Erträge zu stabilisieren und die Resilienz gegenüber Umweltstress zu erhöhen (WENDA-PIESIK, et al., 2021).

Der für diese Arbeit angelegte Feldversuch, im Norden Brandenburgs, widmet sich der detaillierten Untersuchung des Mais-Gemengeanbaus. Verglichen werden dabei die Gemenge mit den Gemengepartnern Stangenbohne, Sonnenblume und Sorghum mit solo angebautem Mais. Ziel dieses einjährigen Praxisversuches ist es, die ackerbaulichen und futterqualitativen

Parameter dieser Anbauvarianten eingehend zu beleuchten. Die Untersuchungen konzentrieren sich auf verschiedene Schlüsselindikatoren, darunter die N_{\min} -Gehalte, der pH-Wert des Bodens sowie die Verfügbarkeit von Phosphor, Kalium, Magnesium und den Humusgehalt. Darüber hinaus stehen die frischen und silierten Vollanalysen im Fokus.

Auf Grundlage dieser Daten wird am Ende der Arbeit ein Vergleich und eine Bewertung der Gemengevarianten Mais-Stangenbohne, Mais-Sonnenblume und Mais-Sorghum mit solo angebautem Mais erfolgen. Diese breit angelegte Analyse ermöglicht nicht nur ein tiefgründiges Verständnis der agronomischen Bedingungen, sondern eröffnet auch Einblicke in die potenzielle Qualität und Nutzbarkeit der Mais-Gemenge.

Die Erkenntnisse dieses Feldversuches können einen bedeutenden Beitrag zur Optimierung landwirtschaftlicher Praktiken leisten, insbesondere hinsichtlich der Leistungsfähigkeit des Mais-Mischanbaus unter den Auflagen der GLÖZ 7 und ÖR 2. Gleichzeitig biete diese Arbeit die Grundlage für zukünftige Forschungen im Bereich des vielfältigen Maisanbaus.

2 Grundlagen zum Mais- und Mais-Gemengeanbau

Der Maisanbau besitzt weltweit und auch in Deutschland eine herausragende Bedeutung für die Nahrungsmittelproduktion, die Tierfütterung und die Energiegewinnung. Mit seinen vielfältigen Verwendungszwecken spielt Mais eine zentrale Rolle in der Landwirtschaft. In jüngster Zeit gewinnt jedoch eine innovative Anbaumethode verstärkt an Interesse: der Mais-Gemengeanbau. Kapitel 2 dieser Arbeit beabsichtigt, einen Überblick über die grundlegenden Prinzipien des Mais- und Mais-Gemengeanbaus zu geben. Dabei werden auch die gesetzlichen und politischen Rahmenbedingungen sowie Anbaubedingungen und futterqualitativen Kennzahlen und ihre Richtwerte erläutert. Bezug genommen wird dabei auf die Kulturen im Feldversuch: Mais (Silomais), Stangenbohne, Sonnenblume und Sorghum. Dies bildet die Grundlage für die weiterführende Arbeit und Diskussion der Ergebnisse.

2.1 Bedeutung des Maisanbaus in Deutschland und Brandenburg

Mais zählt, neben Weizen und Reis, zu den wichtigsten Getreidearten der Welt (AHRENS, 2024). In Deutschland hat der Maisanbau eine bedeutende agrarwirtschaftliche Funktion. Aktuell umfasst die Anbaufläche in Deutschland etwa 2,45 Mio. ha. Davon werden etwa 1,98 Mio. ha für die Futter- und Biogasnutzung sowie 0,47 Mio. ha zur Körnermaiserzeugung genutzt. Brandenburg belegt mit rund 200.000 ha Platz 4 der Bundesländer in Deutschland mit der größten Maisanbaufläche (DMK, 2023).

Am 25. August 2021 veröffentlichte das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft die „Ackerbaustrategie 2035“, die im Rahmen einer zukunftsfähigen Landwirtschaft Perspektiven aufzeigt und den Landwirten Unterstützung bieten soll. Grund für die Erarbeitung dieser Strategie ist die „enorme Leistungssteigerung im Ackerbau“, die Nebenwirkungen auf die Umwelt, die Natur, das Klima und die Gesellschaft hat (BMEL, 2019). Um die Akzeptanz der Landwirtschaft zu fördern, wurden in der Ackerbaustrategie sechs Leitlinien erarbeitet: die Sicherstellung der Nahrungsmittelversorgung, die Einkommenssicherung der Landwirte, der Schutz der natürlichen Ressourcen, die Förderung der Biodiversität, der Klimaschutz und die gesellschaftliche Akzeptanz. Im Rahmen dieser Leitlinien veröffentlichte das *Deutsche Maiskomitee* einen Bericht, der erläutert, welchen Beitrag die Kultur Mais dazu leisten kann (DMK, 2020). Die wichtigsten Aspekte wurden fortführend zusammengefasst.

Innerhalb der Kultur Mais können große Züchtungsfortschritte hinsichtlich des Ertrags und des Abreifeverhaltens verzeichnet werden. Mais wird als Futtermittel für Rinder in der Mast und Milchproduktion eingesetzt. Des Weiteren dient er als Substrat für Biogasanlagen zur Biogasproduktion. Als Körnermais wird die Kultur als Futtermittel in der Schweine- und Geflügelhaltung genutzt. Etwa 20 % des Körnermaises werden für die Stärkeproduktion

verwendet. Kleinere Mengen werden für die Ethanol- oder Kunststoffherstellung genutzt. Die hohe Bedeutung erlangt der Mais auch durch die jährlichen Züchtungsfortschritte der Maiserträge (Kornertrag +1,8 %, Silomais +0,8 %), womit ihm die Sicherstellung der Versorgung zugewiesen werden kann (DMK, 2020).

Der hohe ökonomische Wert der Kultur Mais wird durch seine geringen Arbeitskosten sowie den geringen Bedarf an Pflanzenschutz- und Düngemitteln begründet. Hinzu kommt, dass Mais auch auf schwachen Standorten eine gute Ertragsstabilität und eine hohe Wassereffizienz zeigt (DMK, 2020).

Mais bietet als Sommerkultur die Möglichkeit des Anbaus von Zwischenfrüchten und aufgrund des Reihenanbaus auch Chancen für Untersaaten. Damit wird diese Kultur dem zentralen Ziel der Stärkung der Umwelt und Ressourcen gerecht und kann enge Getreidefruchtfolgen auflockern. Dies wird auch durch den geringen Behandlungsindex im Bereich der chemischen Pflanzenschutzmittel unterstützt. Ebenso bietet Mais als Reihenkultur die Möglichkeit der mechanischen Unkrautbekämpfung mittels Hacke und Striegel (DMK, 2020).

Maisfelder können auf unterschiedliche Weise als Lebensraum für Tiere fungieren. In Kombination mit Untersaaten oder anderen Gemengepartnern, wie Sonnenblumen oder Bohnen, wird der Anbau von Mais für Bienen und andere Insekten noch interessanter (DMK, 2020; TOP AGRAR, 2020).

Auf die Frage, wie der Anbau von Mais den Klimaschutz beeinflussen kann, argumentierte das *Deutsche Maiskomitee* wie folgt: Beim *Carbon Foodprint*, welcher die Treibhausgasbilanz von Lebensmitteln erfasst, ist nicht allein der Anbau auf dem Feld zu betrachten, sondern auch das Endprodukt für den Verbraucher und dessen Verarbeitungslinie. Durch die hohen Erträge von Körner- und Silomais entstehen im Vergleich mit anderen Kulturen geringere Treibhausgasemissionen (DMK, 2020).

Mais ist eine attraktive Kultur, da züchterisch ertragsstarke Sorten sowie verbesserte Anbau- und Erntetechnologien zur Verfügung stehen. Zudem bietet Mais vielseitige Verwendungsmöglichkeiten und nimmt eine zentrale Rolle in der Ackerbaustrategie 2035 ein (DMK, 2020).

2.2 Gesetzliche Rahmenbedingungen für den Mais- und Gemengeanbau in Deutschland und Brandenburg

Die GAP-Reform im Jahr 2023 stellt die Landwirtschaft vor neue Herausforderungen. Der neue GAP-Strategieplan verfolgt 10 Ziele, welche in Abbildung 1 dargestellt sind.



Abbildung 1: Ziele des neuen GAP-Strategieplans 2023 (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2024)

Die neue Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) stützt sich auf drei Kernelemente: die Konditionalität (GLÖZ und GAB), die Direktzahlungen (1. Säule) und die Agrar- und Umweltmaßnahmen (2. Säule). Innerhalb der Konditionalität wurden Maßnahmen aus den früheren Cross-Compliance- und Greening-Regelungen zusammengeführt. Die GLÖZ-Standards und GAB-Anforderungen müssen von jedem Landwirt, unabhängig von der Bewirtschaftungsform, eingehalten werden, um Förderansprüche geltend machen zu können. Dadurch sollen die Landwirtschaftsbetriebe für die Notwendigkeit einer nachhaltigen Landwirtschaft sensibilisiert werden, um den Erwartungen der Gesellschaft gerecht zu werden (MLUK, 2023).

Das Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg veröffentlichte im Februar 2023 eine „Infobroschüre über die einzuhaltenden Verpflichtungen bei der Konditionalität 2023“ (MLUK, 2023), die die folgenden Maßnahmen innerhalb der GLÖZ 7 vorschreibt:

- „Auf mindestens 33 Prozent der Ackerflächen eines Betriebes muss gegenüber dem Vorjahr ein Wechsel der Hauptkultur erfolgen.“ (MLUK, 2023)

- „Auf weiteren mindestens 33 Prozent der Ackerflächen des Betriebes ist gegenüber dem Vorjahr eine andere Hauptkultur anzubauen“ (MLUK, 2023) oder bei der gleichen Hauptkultur der Anbau einer Zwischenfrucht oder Begrünung durch eine Untersaat.
- „Auf dem restlichen Ackerland des Betriebes (maximal 34 Prozent) muss der Wechsel der Hauptkultur spätestens im dritten Jahr erfolgen (erstmal 2024).“ (MLUK, 2023), wenn keine Zwischenfrucht oder Untersaat angebaut wurde.

Von dieser Regelung ausgenommen sind Betriebe mit weniger als 10 ha Ackerfläche, ökologisch wirtschaftende Betriebe, der Anbau von Mais zur Saatgutproduktion, Tabak und Roggen in Selbstfolge sowie Betriebe, die auf mehr als 75 % ihrer Ackerfläche Grünfütter, Leguminosen oder Brachen anbauen, und die restlichen 25 % weniger als 50 Hektar ausmachen (MLUK, 2023).

Als Hauptkultur gilt in der GLÖZ 7:

- „jede Kultur einer der verschiedenen in der botanischen Klassifikation landwirtschaftlicher Kulturpflanzen definierten Gattungen,
- jede Art im Fall der Brassicaceae (Kreuzblütler), Solanaceae (Nachtschattengewächse) und Cucurbitaceae (Kürbisgewächse) sowie
- Gras oder andere Grünfütterpflanzen [...]“ (MLUK, 2023)

Bei Betrachtung des Anbaus von Mischkulturen sind folgende Regelungen im Rahmen der GLÖZ 7 in Brandenburg vorgegeben:

„Alle Mischkulturen von Leguminosen oder von Leguminosen mit anderen Pflanzen, sofern Leguminosen überwiegen, zählen zu der einzigen Hauptkultur „Leguminosenmischkultur“. Alle Mischkulturen, die nicht unter die oben genannte Kategorie von Gras oder anderen Grünfütterpflanzen oder die vorgenannten Leguminosenmischkulturen fallen und durch Aussaat einer Saatgutmischung oder Aussaat oder Anpflanzung mehrerer Kulturpflanzen in getrennten Reihen etabliert wurden, zählen zu der einzigen Hauptkultur „sonstige Mischkultur“.“ (MLUK, 2023).

Innerhalb der Öko-Regelung 2, die im Jahr 2023 mit 45 €/ha gefördert wurde (BLE, 2023), gilt für Brandenburg ein Mindestanteil von 10 % Leguminosen. Bei Mischungen mit Leguminosen muss die Leguminose auf der Fläche vorherrschen, um die Mischung als Leguminose zu qualifizieren. Es ist daher nicht empfehlenswert, Mischungen mit einem Leguminosenanteil von 51 % zu wählen, da damit nicht sichergestellt werden kann, dass die Leguminosen tatsächlich überwiegen. Dies wird durch optische Inspektionen von Kontrolleuren überprüft. Wenn die Leguminose nicht überwiegt, wird für die Öko-Regelung 2 nicht der Nutzungscode 250 für Leguminosen verwendet, sondern der Nutzungscode 917 für sonstige Mischkulturen. „Ob das Mischungsverhältnis z.B. bei 80/20, 70/30 oder 60/40 liegt bzw. eine oder mehrere

Leguminosen in der Mischung enthalten sind, ist nicht weiter vorgegeben.“ (MLUK, 2024c). Für Mischkulturen ohne Leguminosen ist kein spezifisches Mischungsverhältnis vorgeschrieben. In Abstimmung mit den Ländern wurde vereinbart, dass bei einem normalen Mischkulturanbau in Brandenburg mindestens zwei Kulturen erkennbar sein müssen (LANDESPORTAL SACHSEN-ANHALT, 2023). Während in Brandenburg nur Empfehlungen für Mischungsverhältnisse vorliegen, gibt es in anderen Bundesländern Deutschlands klare Vorgaben. In Nordrhein-Westfalen wird bereits ein Mais-Bohnen-Gemenge mit einem Bohnenanteil von 25 % als Leguminose betrachtet, während Mais und Mais-Bohnen-Gemenge als zwei verschiedene Kulturen angesehen werden (FNR, 2024). In Schleswig-Holstein gilt ein ähnliches Mischungsverhältnis, aber das Mais-Bohnen-Gemenge wird dort nicht als Leguminose betrachtet, sondern nur als zusätzliche Hauptkultur neben Mais. „Als Maisgemenge zählen beispielsweise Mais/Stangenbohne oder Mais/Sorghum und auch Mais/Sonnenblume. Beim Anbau ist darauf zu achten, dass beim Feldaufgang mindestens 25 % des Mischungspartners im Feld stehen.“ (GRIMME, 2023). Die Arbeitsgemeinschaft für Landberatung e.V. aus Hannover fasst die Vorgaben für den Anbau von Mischkulturen in Niedersachsen wie folgt zusammen: Um eine Mischkultur im Rahmen der Öko-Regelung 2 als Leguminose zu qualifizieren, muss der Leguminosenanteil mindestens 50 % betragen. Bei anderen Mischungen mit Mais (z. B. mit Sorghum oder Sonnenblume) müssen mindestens 25 % des Mischungspartners im Bestand erreicht werden (LU HARBURG E.V., 2023). Für Sachsen und Mecklenburg-Vorpommern gelten die gleichen Bedingungen wie für Brandenburg (DOLK, 2022). In Bayern gelten für die GLÖZ 7 und ÖR 2 die folgenden Regelungen: Für die "Sonstigen Mischkulturen" wird kein spezifisches Mischungsverhältnis vorgegeben. Um als Leguminose zu gelten, muss die Leguminose überwiegen. Andernfalls handelt es sich um eine "Sonstige Mischkultur". Beide Varianten werden jedoch als Hauptfrucht betrachtet und können nach Mais angebaut werden (STMELF, 2023). In Baden-Württemberg kann der Landwirt eine Förderung für ein Mais-Stangenbohnen-Gemenge erhalten, wenn der Maisanteil maximal 75 % beträgt. Dieses Gemenge gilt nur als Leguminose, wenn der Leguminosenanteil überwiegt (MLR, 2024).

Für die Öko-Regelung 2 soll ab 2024 der Fördersatz von zuvor 45 €/ha auf 60 €/ha angehoben werden (DBV, 2024).

Ein weiterer wichtiger Aspekt, der im Zusammenhang mit dem Mais-Gemengeanbau berücksichtigt werden sollte, ist die Satellitenfernerkundung. Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft hat mit dem Beobachtungssystem *Copernicus* ein System geschaffen, um die Umsetzung der flächenbezogenen Umwelt- und Kulturmaßnahmen zu erfassen und zu überprüfen. Dies soll die Zielerreichung der GAP unterstützen (BMEL, 2023). „Ab der Förderperiode beginnend mit dem Jahr 2023 kommt als verpflichtendes Element des *InVeKoS* die Einführung eines „Flächenüberwachungssystems“ (AMS) hinzu. Dieses

Verfahren beinhaltet eine regelmäßige und systematische Beobachtung, Verfolgung und Bewertung landwirtschaftlicher Tätigkeiten und Methoden auf allen landwirtschaftlichen Flächen anhand von Sentinel-Satellitenbildern im Rahmen des *Copernicus*-Programms oder anderer zumindest gleichwertiger Bilddaten.“ (BMEL, 2023). Nun stellt sich die Frage, inwieweit Mischkulturen damit identifiziert werden können oder ob Landwirte einen erhöhten Arbeitsaufwand für die Dokumentation mit eigenen Bildern haben.

2.3 Anbaubedingungen und Richtwerte von Silomais und der Gemengepartner Stangenbohne, Sonnenblume und Sorghum

Im Kapitel 2.3 werden nach der botanischen Charakterisierung, die Standortansprüche sowie die Anbaubedingungen der Kulturen Mais, Stangenbohne, Sonnenblume und Sorghum beschrieben. Dabei werden die Aussaat- und Vegetationsbedingungen sowie das Nährstoff- und Pflanzenschutzmanagement beleuchtet, gefolgt von den wichtigsten Ertragsparametern von Silomais.

In den Kapiteln 2.3.7 und 2.3.8 wird auf futterqualitative Kennzahlen und Richtwerte im Silomaisanbau eingegangen. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die Rinderfütterung zur Milchproduktion und Biogasproduktion gelegt, da Silomais dort eine übergeordnete Rolle spielt. In der Schweine- und Geflügelfütterung wird hauptsächlich Körnermais eingesetzt, der in diesem Versuch jedoch keine Bedeutung hat.

2.3.1 Botanik

Die im Feldversuch stehenden Kulturen Mais, Stangenbohne, Sonnenblume und Sorghum gehören verschiedenen Pflanzenarten und -familien an.

Mais zählt zur Familie der Süßgräser, lat. Gramineae, und ist eine monözische Pflanze bei der die männlichen und weiblichen Blüten an einer Pflanze, räumlich getrennt, vorzufinden sind. Die Rispe bildet dabei den männlichen Blütenstand an der Spitze der Pflanze. Die Narbenfäden sind der weibliche Blütenteil, welche sich an den Kolbenansetzen in den Blattachseln befinden. Nachdem die Pollen der Rispe die Narbenfäden befruchtet haben, bildet sich in der Blattachsel der Kolben. Eine Besonderheit stellt die Protandrie dar. Diese besagt, dass die Rispe 2 bis 4 Tage vor den Narbenfäden erscheint (DMK, 2023a). „Für die Befruchtung ist eine feuchtwarme Witterungsperiode von Vorteil. Große Hitze oder anhaltende Regenfälle zur Zeit der Blüte, die etwa Mitte bis Ende Juli stattfindet, führt zu Fertilitätsproblemen. Nach der Befruchtung trocknen die Narbenfäden ein und es kommt zur Kornbildung.“ (DMK, 2023a). Das Wurzelsystem kann eine Tiefe von bis zu 2,5 m erreichen,

dazu bildet die Maispflanze ein breites Geflecht an Seitenwurzeln. Hinzu kommen Luft- und Stützwurzeln, die am zweiten oder dritten Stängelknoten wachsen und mit Eindringen in die Erde ebenfalls Wurzelfunktionen übernehmen. Mais erreicht eine Wuchshöhe von bis zu 2,7 m und zählt zu den C₄-Pflanzen (DMK, 2024). Sie zeigt unter warmen Bedingungen eine schnelle Jugendentwicklung, ist jedoch sehr frostempfindlich. Die Kultur kann in Form von Ganzpflanzensilage für die Nutztierfütterung oder die Biogasproduktion, als Lieschkolbensilage, CCM oder Körnermais geerntet, verwertet und genutzt werden (DMK, 2024a).

Die **Stangenbohne** gehört zur Familie der Hülsenfrüchte, lat. Fabaceae, und damit zu den Leguminosen. Sie benötigen eine Stützhilfe in Form von Drähten oder einer Stützkultur, wie zum Beispiel Mais, an denen sie sich hochrankt. Die Stangenbohne erreicht eine Wuchshöhe von 2 m bis 4 m und besitzt eine schwache Hauptwurzel. Zusätzlich ist sie sehr frostempfindlich. Eine Besonderheit stellt das ausgeprägte Feinwurzelsystem mit den Knöllchenbakterien dar, die eine Stickstofffixierung ermöglichen. Die Symbiose der Pflanze mit den Knöllchenbakterien ermöglicht es Luftstickstoff in pflanzenverfügbaren Stickstoff zu transformieren, womit die Stickstoffdüngung reduziert werden kann. Die Möglichkeit dieser Fixierungsleistung nutzt die Bohne nur unter einer Stickstoff-Mangelsituation. Befindet sich die Kultur in einer Lage mit ausreichender N-Versorgung findet keine Fixierung statt. Ebenfalls entscheidend für die N-Fixierungsleistung ist die Menge an Rhizobien im Boden mit denen die Bohne eine Symbiose eingehen kann (NIEHOFF, 2021). Als Frucht bildet die Stangenbohne Hülsen, die mehrere Bohnen enthalten. Die Anbaufläche in Freilandhaltung in Deutschland liegt zwischen 100 ha und 150 ha. Interessanter wird der Mischanbau mit Mais, da damit eine höhere Biodiversität erzielt und die heimische Eiweißproduktion, auch hinsichtlich der Nutztierfütterung, gefördert wird (FREUDENBERGER, 2024). Zu beachten ist bei der Produktion von Futter für Nutztiere, dass die Stangenbohne Phasin enthält, welches eine toxische Wirkung für Rinder hat. Zwischen den Stangenbohnen-Sorten gibt es dabei große Unterschiede. Die im Feldversuch genutzte Sorte WAV 612 zählt zu den Sorten mit niedrigen Phasingehalten. Untersuchungen zeigten, dass der Anteil an Phasin in der Stangenbohne keine Auswirkungen auf die Methanausbeute hat (EDER, 2020).

Die **Sonnenblume** zählt zur Familie der Korbblütler, lat. Asteraceae, und stellt eine einjährige krautige Pflanze dar. Sie bildet eine tiefgründige Pfahlwurzel und kann je nach Sorte eine Wuchshöhe von bis zu 5 m erreichen. Bis zum 4-Blatt-Stadium verträgt die Sonnenblume Frost von bis zu -5 °C. Der Blütenstand umfasst einen großen Blütenkorb mit gelben Blütenblättern. Stängel und Blätter sind fein behaart (FREUDENBERGER, 2024a). Eine Besonderheit stellt die Fähigkeit des Heliotropismus dar, was bedeutet, dass die Sonnenblume sich der Sonne nach ausrichtet. Dies basiert auf dem Phytohormon Auxin, was dafür sorgt, dass die beschattete Pflanzenseite schneller wächst und sich die Pflanze dadurch zur Sonne dreht. Der gelbe

Blütenstand zieht viele Insekten an, was für eine fördernde Biodiversität spricht (BFN, 2024). Die Sonnenblume wird vorwiegend zur Ölproduktion angebaut.

Die **Sorghumhirse**, lat. *Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*, zählt zur Familie der Süßgräser (Gramineae). Diese Hirseart stellt eine Hybride aus der Mohrenhirse (*Sorghum bicolor*), welche vorwiegend als Zwischenfrucht, und dem Sudangras (*Sorghum sudanense*), welche verstärkt als Substrat für die Biogasanlage angebaut wird, dar. Die Wurzeln dieser Pflanzen bestehen aus einem ausgedehnten Feinwurzelsystem. Als Blütenstand entwickelt Sorghum eine Rispe. Das Süßgras kann bis zu 5 m hoch werden und ist durch die hohen Biomasseerträge als Substrat für Biogasanlagen interessant (ISIP, 2024). Durch die hohen Temperatursprüche zeigt die Sorghumhirse eine langsame Jugendentwicklung und ist sehr frostempfindlich (FREUDENBERGER, 2024b). In der fortlaufenden Arbeit wird die verwendete Kultur nur als „Sorghum“ bezeichnet, um die Verständlichkeit zu verbessern.

Pflanzen betreiben unter Aufnahme von Wasser, Kohlenstoffdioxid (CO₂) und Sonnenlicht Fotosynthese, um Glucose und Sauerstoff zu erzeugen. In erster Linie benötigen Pflanzen die Glucose zur eigenen Energiegewinnung, welche für das Wachstum notwendig ist. Unter den Pflanzen kann zwischen C₃- und C₄-Pflanzen unterschieden werden. Getreide, Bohnen und Sonnenblumen zählen unter anderem zu den C₃-Pflanzen, Mais und Sorghum zu den C₄-Pflanzen. Die beiden Pflanzenarten diversifizieren sich durch ihren Blattaufbau und den damit verbundenen Ablauf der Fotosynthese. C₄-Pflanzen besitzen neben den Mesophyllzellen zusätzlich um das Leitbündel die Leitbündelscheidenzellen (STITT, 2024).

„Während in C₃ Pflanzen die CO₂-Fixierung und der sich daran anschließende Stoffwechsel, der zur Bildung von Zuckern führt, in ein und demselben Zelltyp abläuft, sind bei C₄-Pflanzen diese Abläufe räumlich voneinander getrennt.“ (STITT, 2024). Bei den C₄-Pflanzen wird aktiv Kohlenstoffdioxid aufgenommen und in den Mesophyllzellen fixiert, wobei eine Verbindung mit vier Kohlenstoffatomen entsteht, auch Oxalacetat genannt. Das gebundene Kohlenstoffdioxid wird dann in die Leitbündelscheidenzellen weitergeleitet und durch das Enzym RuBisCo zu Stärke und Zucker verstoffwechselt (STITT, 2024).

Durch die Fixierung von Kohlenstoffdioxid in den Mesophyllzellen stehen dem Enzym Kohlenstoffdioxidkonzentrationen zur Verfügung, die 10-mal höher sind, als in der Außenluft. Die räumliche Trennung der beiden Stoffwechselvorgänge bewirkt eine gesteigerte Effizienz der Fotosyntheseleistung von C₄-Pflanzen, als die der C₃-Pflanzen. Neben der Erreichung von hohen Biomasseerträgen sind C₄-Pflanzen den C₃-Pflanzen bei Trockenheit und hohen Temperaturen überlegen (STITT, 2024).

2.3.2 Boden und Klima

Der Standort auf dem eine landwirtschaftliche Kultur angebaut wird, ist von hoher Bedeutung. Die natürlichen Gegebenheiten, wie das Bodenprofil und die Bodenart, sowie die Ackerkulturen beeinflussen die Bodenstruktur, den Wasser-, Luft- und Nährstoffhaushalt und die Bodenreaktionen des Bodens (DIEPENBROCK, et al., 2012). Der Boden bietet viele Möglichkeiten Kenngrößen zu erfassen und damit Rückschlüsse auf das Anbaupotential und die Bodenfruchtbarkeit zu ziehen.

Die **Bodenstruktur** wird über „die räumliche Anordnung der festen Bodenbestandteile definiert“ (LFULG, 2024). In Abhängigkeit von der Größe und der Menge dieser Bestandteile entstehen Poren im Boden, die sich mit Luft und Wasser füllen können. Die Bodenstruktur hängt maßgeblich von der Bodenart und der mechanischen Bodenbearbeitung ab (LFULG, 2024). Die **Bodenarten** lassen sich als leichte, mittlere oder schwere Böden identifizieren.

Nach DIEPENBROCK, et al (2012) steigt mit abnehmender Porengröße das Wasserhaltevermögen im Boden, da in kleinen Poren die Saugspannung und damit die Kapillarität zunimmt. Böden mit einem hohen Feinanteil bestehen aus kleinen Bodenbestandteilen, welche viele kleine Poren bilden. Diese haben somit ein erhöhtes Wasserhaltevermögen. Sandige Böden bestehen aus größeren Bestandteilen und bilden große Poren, welche eine geringere Saugspannung hinterlassen und damit ein niedrigeres Wasserhaltevermögen aufweisen (DIEPENBROCK, et al., 2012). Liegt die Größe der festen Bodenbestandteil unter 0,0002 mm, dann ist die Saugspannung und damit die Bindung des Wassers im Boden so hoch, dass die Pflanze dieses nicht mehr aufnehmen kann. Man spricht dann von Totwasser bzw. dem Welkepunkt (SPEKTRUM, 2024).

Die im Feldversuch stehenden Kulturen haben unterschiedliche Bodenansprüche. Alle vier Kulturen können auf leichten bis mittleren Böden angebaut werden. Die Feinkrümeligkeit des Saatbetts ist bei Sorghum aufgrund des kleinen Saatkorns besonders wichtig, damit es nicht zu tief abgelegt wird. Eine gute Durchlüftung ist für die aufgezeigten Sommerkulturen wichtig, um die Bodenerwärmung zu fördern. Während die Stangenbohne humusreiche Böden bevorzugt, steht die Sonnenblume lieber auf humusarmen Böden. Eine Gemeinsamkeit zeigt sich über alle vier Kulturen im Anspruch auf verdichtungsfreie Böden (KWS, 2023a; GARDIFY, 2023; LIEBEGG, 2022; KWS, 2023b).

Ein optimaler **pH-Wert** unterstützt eine gute Bodenstruktur und damit die Wasserdurchlässigkeit und Wurzelentwicklung der Pflanzen. (SCHEFFER, et al., 2002). Der pH-Wert des Bodens ist ein Parameter für die saure oder alkalische Beschaffenheit des Bodens und beeinflusst entscheidend das Pflanzenwachstum. Gemessen wird dabei „die

Menge an freien Wasserstoff-Ionen in Wasser“ (DOLESCHEL, et al., 2014). Der pH-Wert wird auf einer Skala von 0 bis 14 gemessen, wobei ein pH-Wert von 7 als neutral betrachtet wird. Werte unter 7 gelten als sauer, während Werte über 7 als alkalisch oder basisch gelten (SCHEFFER et al., 2002). Durch die Beziehung zwischen Ertrag und pH-Wert sollte auf den optimalen pH-Wert des Bodens, angepasst an die Ansprüche der Ackerkultur, geachtet werden. Mit steigendem pH-Wert sinkt die Pflanzenverfügbarkeit der Mikronährstoffe Mangan, Kupfer, Zink und Bor. Phosphat reagiert ähnlich bei pH-Werten unter 6. Dem entgegen steht die mit steigendem pH-Wert wachsende Aktivität der Mikroorganismen im Boden. Dies fördert den Abbau von Huminstoffe und die Freisetzung von Stickstoff (SCHEFFER, et al., 2002). Bei pH-Werten unter 6 sind Nährstoffe wie Phosphor, Calcium, Schwefel und Magnesium weniger verfügbar. „Im Bereich zwischen 6,3 und 6,8 ist die Verfügbarkeit der meisten Nährstoffe für ein gesundes Pflanzenwachstum am höchsten.“ (SCHMIES, 2021). Verschiedene Pflanzen haben unterschiedliche pH-Präferenzen. In Tabelle 1 sind die Ansprüche der im Versuch angebauten Ackerkulturen aufgezeigt. Die Kulturen Stangenbohne und Sonnenblume haben einen ähnlichen pH-Wert-Anspruch von über 6,0. Silomais und Sorghum können auch schon ab einem pH-Wert von 5,0 bzw. 5,5 angebaut werden. Sorghum zeigt eine hohe Spanne bei dem ein Anbau möglich ist.

Tabelle 1: Ansprüche an den pH-Wert von Silomais, Stangenbohne, Sonnenblume und Sorghum (YARA, 2023a; GARDIFY, 2023; YARA, 2023c; FRITZ, 2023)

| pH-Wert | | | |
|-----------|--------------|-------------|-----------|
| Silomais | Stangenbohne | Sonnenblume | Sorghum |
| 5,5 – 7,0 | 6,0 – 8,0 | 6,0 – 7,0 | 5,0 – 8,5 |

Als **Humus** wird organisches Material im Boden bezeichnet, welches durch Bodenorganismen (Bakterien, Pilze, Insekten) zersetzt wurde oder sich im Zersetzungsprozess (Humifizierung) befindet. Dies kann von pflanzlicher Herkunft, wie Ernterückstände, oder tierischer Herkunft, wie Stalldung und Gülle, sein und dient den sich im Boden lebenden Mikroorganismen als Energiequelle von denen sie in Wasser und Kohlenstoffdioxid umgewandelt werden (AMBERGER, 1996; DOLESCHEL et al., 2014).

Neben dem Abbau organischer Pflanzen- und Tierreste sind Mikroorganismen für die Mineralisierung organischer Stoffe und die Freisetzung von Nährstoffen verantwortlich. Sie können Luftstickstoff binden, Mineralstoffe freisetzen und Fremdstoffe abbauen (ITTERSHAGEN, 2013). Durch den Abbau von Humus durch Mikroorganismen und deren unmittelbaren Einfluss auf den Abbau von Stoffen, müssen dem Boden immer wieder erneut

Pflanzenrückstände und organische Dünger zugeführt werden. Weiterhin hat Humus eine hohe Wasserspeicherkapazität, was die Wasserverfügbarkeit für die Ackerkulturen steigert (LFL, 2023). Humus wirkt als Puffer bei hohen pH-Wert-Schwankungen und hat damit einen wichtigen Einfluss auf biochemische Prozesse (LFL, 2023). „Der Humus kann die für die Pflanzenernährung wichtigen Kationen (Calcium, Magnesium, Kalium) und Anionen (Phosphat, Sulfat, Nitrat) austauschbar binden und so vor Auswaschung schützen, eine Eigenschaft, die insbesondere bei sandigen Böden wegen ihres geringen Tonanteils von Bedeutung ist.“ (LFL, 2023). Die Bodenorganismen haben damit einen entscheidenden Einfluss auf die Bodenfruchtbarkeit (DOLESCHEL, 2014).

Der Humusgehalt lässt sich in mehrere Gehaltsklassen unterteilen, welche in Tabelle 2 dargestellt sind. Humusgehalte zwischen 2 % und 4 % gelten als mittel humos. Werte unter 2 % werden als schwach humos und Werte über 4 % als stark humos bis anmoorig eingestuft.

Tabelle 2: Humusgehaltstabelle (verändert nach THELEMANN, et al., 2024)

| Bezeichnung | Humusgehalt (%) |
|------------------------|-----------------|
| humusfrei | 0 |
| sehr schwach humos | < 1 |
| schwach humos | 1 ≤ 2 |
| mittel humos | 2 ≤ 4 |
| stark humos | 4 ≤ 8 |
| sehr stark humos | 8 ≤ 15 |
| extrem humos, anmoorig | 15 ≤ 30 |
| organisch, Torf | ≥ 30 |

Die Erträge der Ackerkulturen hängen unter anderem von der „Menge und Verteilung der Niederschläge ab.“ (LOCHNER, et al., 2011). Ein Maß für das pflanzenverfügbare Wasser im Boden ist die **nutzbare Feldkapazität**, welche in Prozent (0 – 100 %) angegeben wird. Je nach Größe der Bodenbestandteile, befindet sich mehr oder weniger Luft im Boden, welcher durch Wasser ausgetauscht werden kann. Leichte sandige Böden mit großen Bodenbestandteilen können viel Wasser aufnehmen, allerdings nur mäßig halten, da die Saugspannung in grobkörnigen Böden sinkt (LOCHNER, et al., 2011). Die nutzbare Feldkapazität liegt bei diesen Böden weit unter 100 % (DWD, 2024). „Der Zustand, bei dem der Boden [...] das gesamte Wasser gerade noch gegen die Schwerkraft halten kann, wird Feldkapazität genannt.“ (DWD, 2024). Wird die Luft im Boden vollständig von Wasser

ersetzt, „spricht man von einem gesättigten Boden.“ (DWD, 2024). Dies ist oft in den Wintermonaten zu beobachten, wenn durch die gefrorenen Böden das Wasser nicht absickern kann. Durch wechselnde Witterungsbedingungen, die Erdanziehungskraft, den Entzug der Pflanze und die durch die Korngröße beeinflusste Saugspannung kann das Wasser im Boden nicht dauerhaft gehalten werden. Festzuhalten ist, dass hohe Werte der nutzbaren Feldkapazität einen hohen Anteil an pflanzenverfügbarem Wasser im Boden bedeuten (LOCHNER, et al., 2011).

2.3.3 Aussaat und Vegetation

Ziel des Mais-Gemengeanbaus ist eine gemeinsame Aussaat, um mehrere Überfahrten und damit das Risiko auf Verdichtungen im Boden zu minimieren. Eine zeitgleiche Aussaat mit einem fertigen Gemisch bedingt eine Abstimmung von Korngröße und Korngewicht, um Entmischungen im Saatguttank zu vermeiden. In Tabelle 3 werden die **Tausendkorngewichte** der im Versuch stehenden Kulturen aufgezeigt. Silomais und Stangenbohne zeigen ähnliche TKG-Werte. Große Unterschiede sind zwischen Mais und Sonnenblume, sowie Mais und Sorghum zu erkennen. Hier sind Differenzen von 130 g bis 175 g zu erwarten.

Tabelle 3: Tausendkorngewichte (TKG) von Silomais, Stangenbohne, Sonnenblume und Sorghum (KWS, 2023c; KWS, 2023d; ZAND, et al., 2021)

| TKG (g) | | | |
|-----------|--------------|-------------|---------|
| Silomais | Stangenbohne | Sonnenblume | Sorghum |
| 230 – 350 | 200 – 300 | 50 – 70 | 20 – 25 |

Hinsichtlich der **Korngröße und Kornform** gibt die Abbildung 2 Einblicke in die Unterschiede. Dabei ist zu erkennen, dass sich die Mais- und Stangenbohnsamen in ihrer Größe und Form sehr ähneln. Der Samen der Sonnenblume unterscheidet sich hinsichtlich seiner nach oben verjüngenden Form vom runden Maiskorn. Der Größenunterschied zwischen den Mais- und Sorghumsamen ist am Größten. Im Sorghum wurde eine Möglichkeit getestet das Saatkorn mit einem Kalkmantel aufzupillieren, um die Kornumfang zu vergrößern. Allerdings verzögerte sich dabei das Auflaufen, da der Kalkmantel sich erst auflösen musste (ANDRESEN, 2023).

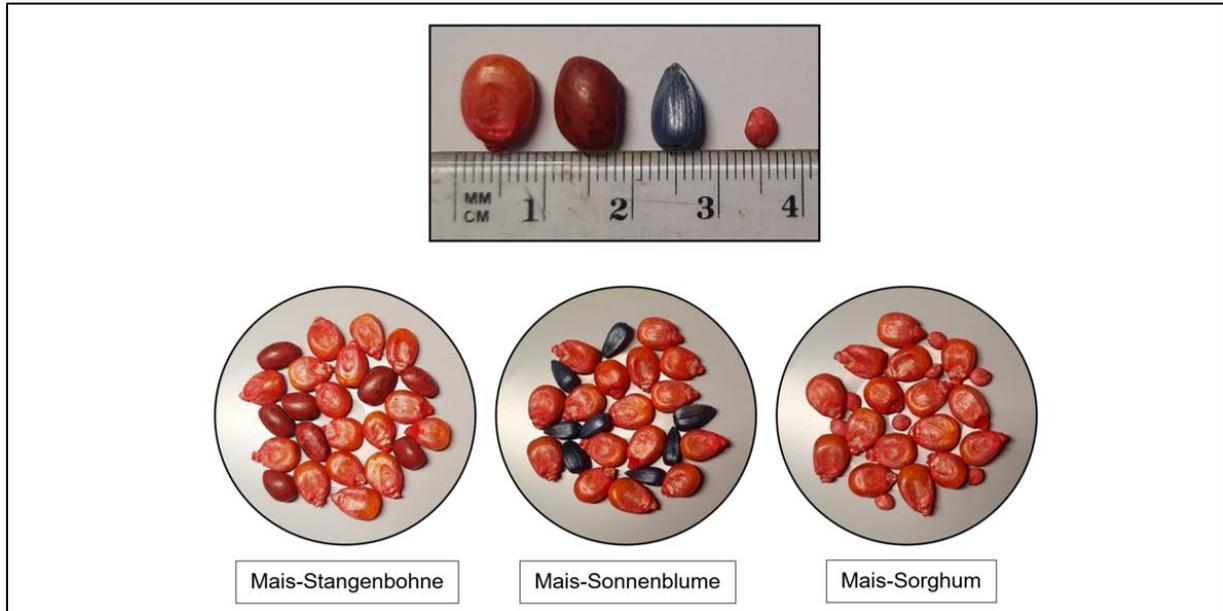


Abbildung 2: Vergleich der Korngröße und -form zwischen Mais, Stangenbohne, Sonnenblume und Sorghum; Gemenge-Mischungsverhältnis von 8:4 (eigene Darstellung)

Bei Betrachtung der Ansprüche an die **Bodentemperatur** zur Aussaat in Tabelle 4 zeigt sich ein wesentlicher Unterschied bei der Stangenbohne und dem Sorghum. Diese benötigen im Vergleich zum Mais mind. 4 °C mehr im Boden, da diese Kulturen sehr kälteempfindlich sind (THEIß, et al., 2018). Hinsichtlich der **Saattiefe** in Tabelle 4 ist zu erkennen, dass aufgrund der kleinen Korngröße, Sorghum am flachsten abgelegt wird. Silomais, Stangenbohne und Sonnenblume können ähnlich tief, durchschnittlich bei circa 4 bis 5 cm, abgelegt werden.

Tabelle 4: Ansprüche an die Bodentemperatur und Saattiefe von Silomais, Stangenbohne, Sonnenblume und Sorghum (DMK, 2024b; MEINE ERNTE, 2023; LIEBEGG, 2022; LIEBEGG, 2022a)

| | Einheit | Silomais | Stangen- bohne | Sonnen- blume | Sorghum |
|-----------------|---------|----------|-------------------|------------------|---------|
| Bodentemperatur | °C | 8 – 10 | > 12 | 6 – 8 | 12 – 14 |
| Saattiefe | cm | 4 – 6 | 4 – 5 | 3 – 5 | 3 – 5 |

Zu Beginn der Vegetation ist eine schnelle Jugendentwicklung wichtig, um in Konkurrenz gegen Beikräuter um Luft, Licht und Wasser zu bestehen. Die Konkurrenzkraft hängt von der Wuchshöhe, einer schnellen Jugendentwicklung und breiten Blättern ab (BIOAKTUELL, 2024).

Während der Vegetation ist neben der Temperatur vor allem die Wasserverteilung für den Ertrag entscheidend. Mais hat den höchsten Wasserbedarf während der Blüte und der Befruchtungsphase (KÜHNE, 2016). Je nach Sorte beläuft sich diese Phase auf den Zeitraum Mitte Juli bis Anfang August. Die in diesem Versuch angebaute Maissorte *Agro Milas* zählt zu den frühen Sorten und hatte im Versuchsjahr 2023 am Standort Kleisthöhe ihren Blütezeitpunkt circa Ende Juli. Auch die Stangenbohne und Sonnenblume benötigen zur Blüte und Fruchtbildung das meiste Wasser (WEINHAPPEL, et al., 2020). Bei der Sonnenblume im Feldversuch bezieht sich dies auf den Zeitraum Ende Juli bis Mitte August. Die Stangenbohne blüht in der Regel später, circa Mitte August und hat ab dort beginnend den höchsten Wasserbedarf. Sorghum hat grundsätzlich einen geringen Wasserbedarf und benötigt diesen vor allem zum Längenwachstum und Ausbildung der Rispe. Im Unterschied zu anderen Kulturen besitzt Sorghum die Fähigkeit sein Wachstum bei Dürre zu verlangsamen bzw. einzustellen und danach wiederfortzusetzen. Dies bietet eine hohe Ertragsicherheit, da andere Kulturen irreversible Schäden durch Dürre aufzeigen (HOLTMANNSAATEN, 2024).

Der **Transpirationskoeffizient** dient als Maß für die Effizienz der Wassernutzung. Er gibt an wie viel Liter Wasser eine Kulturpflanze benötigt, um ein Kilogramm Trockenmasse zu bilden (DIEPENBROCK, et al., 2012). In Tabelle 5 sind die Transpirationskoeffizienten der im Versuch stehenden Kulturen dargestellt. Dabei sind große Varianzen unter den Werten sichtbar.

Tabelle 5: Transpirationskoeffizient von Silomais, Stangenbohne, Sonnenblume und Sorghum (DIEPENBROCK, et al., 2012)

| Transpirationskoeffizient (l/kg TM) | | | |
|-------------------------------------|--------------|-------------|-----------|
| Silomais | Stangenbohne | Sonnenblume | Sorghum |
| 300 – 400 | 600 – 700 | 500 – 600 | 200 – 300 |

Die Kulturen Stangenbohne und Sonnenblume weisen die höchsten Transpirationskoeffizienten auf. Beide benötigen für die Produktion eines Kilogramms Trockenmasse mehr als 500 Liter Wasser. Mais und Sorghum hingegen benötigen nur circa die Hälfte an Wasser mit rund 300 Liter pro Kilogramm Trockenmasse.

2.3.4 Nährstoffmanagement

Landwirte sind laut Düngeverordnung verpflichtet alle 6 Jahre eine Grundbodenuntersuchung, speziell zu Stickstoff und Phosphor, auf jeder Fläche durchzuführen. Die ermittelten Werte dienen als Grundlage für die Düngebedarfsermittlung (LEHLE, 2023).

Stickstoff (N) gehört zu den Haupt- und Makronährstoffen, die maßgeblich das Pflanzenwachstum und Ertragsbildung beeinflussen. Es ist ein wesentlicher Bestandteil von Proteinen, Nukleinsäuren, Chlorophyll und anderen wichtigen Verbindungen wie Phytohormonen (AMBERGER, 1996). Die Aufnahme von Stickstoff erfolgt in der oxidierten Form Nitrat (NO_3^-) oder der reduzierten Form Ammonium (NH_4^+) (K+S, 2023). Stickstoff ist ein wesentlicher Bestandteil von Chlorophyllmolekülen und Enzymen. Ein Mangel an Stickstoff kann die Photosynthese beeinträchtigen und somit die Energieproduktion der Pflanze reduzieren (BAAB, 2010). Dieser N-Mangel äußert sich in der Aufhellung oder Gelbfärbung der alten Blätter (SCHUBERT, 2011). Stickstoff ist in Nukleinsäuren wie DNA und RNA vorhanden (K+S, 2023). Diese Moleküle sind für die genetische Information und die Übertragung genetischer Merkmale während der Zellteilung und Vermehrung entscheidend. Der Makronährstoff ist durch seine leichte Löslichkeit nur schwer im Boden zu halten. Stickstoff ist daher auswaschungsgefährdet und muss mit einer oder mehreren Düngegaben der Kultur und dem Boden zugeführt werden (SCHEFFER, et al., 2002). Als Kenngröße für den Boden und die Düngeplanung steht die Messung des N_{min} -Gehaltes zur Verfügung.

N_{min} steht für den mineralischen Stickstoffgehalt im Boden. „Die N_{min} -Methode informiert über Menge und Verteilung des pflanzenverfügbaren Stickstoffs im Wurzelraum.“ (DOLESCHEL, et al., 2014) und spielt eine zentrale Rolle für das Pflanzenwachstum. Der Gehalt wird in Kilogramm Stickstoff je Hektar (kg N/ha) gemessen und kann zwischen 10 kg/ha und 200 kg/ha liegen. Der Wert ist abhängig von der Ackerkultur, der Witterung, den Bodenverhältnissen und der Bewirtschaftungsform (BLUME, et al., 2016). Die N_{min} -Bestimmung umfasst in der Regel die Messung von zwei Hauptkomponenten Nitrat (NO_3^-) und Ammonium (NH_4^+). Nitrat stellt dabei die mobilere Form dar, die von Pflanzen gut aufgenommen werden kann (K+S, 2023). Die Summe von Nitrat und Ammonium im Boden gibt Aufschluss über die kurzfristige Verfügbarkeit von Stickstoff für Pflanzen. Ein ausreichender N_{min} -Gehalt im Boden ist wichtig, da Stickstoff ein essenzieller Nährstoff für das Pflanzenwachstum ist (SCHUBERT, 2011). N_{min} -Proben können in drei verschiedenen Bodentiefen erfasst werden: $0 - 30 \text{ cm}$, $30 - 60 \text{ cm}$ und $60 - 90 \text{ cm}$. Die Bodenschicht zwischen 0 cm und 30 cm ist besonders wichtig für viele Kulturen, da die Wurzeln der Pflanzen in diesem Bereich aktiv nach Nährstoffen suchen. Hohe N_{min} -Gehalte in tieferen Bodenschichten können ein Zeichen für Auswaschung sein und sind für die Pflanze zu Beginn der Vegetation nicht erreichbar (SCHUBERT, 2011). Das Land Brandenburg veröffentlichte am 27. März 2023 N_{min} -Richtwerte für die Sommerkultur Mais, welche in Anhang 1 einsehbar sind.

Phosphor (P) ist ein essenzieller Nährstoff für Pflanzen, der eine Schlüsselrolle in vielen biologischen Prozessen spielt, insbesondere im Energiestoffwechsel und Zellteilungsprozessen. Phosphor ist ein Bestandteil von Nukleinsäuren, ATP (Adenosintriphosphat), Phospholipiden und anderen zellulären Molekülen. Er wird von der

Pflanze über den Boden als Phosphat (H_2PO_4^- oder HPO_4^{2-}), welches aus organischen oder mineralischen Verbindungen stammt, aufgenommen (SCHUBERT, 2011). Phosphor ist oft in einer für Pflanzen schwer verfügbaren Form im Boden gebunden. Pflanzen können diesen Nährstoff nur in gelöster Form aufnehmen. Bakterien und Pilze im Boden spielen eine wichtige Rolle bei der Umwandlung von nicht verfügbaren Verbindungen in eine für Pflanzen zugängliche Form. Für die Aufnahme von Phosphor ist viel Wasser erforderlich, da dieses Element nur in geringer Konzentration im Boden vorhanden ist (RICHTER, 2005). Ein Mangel an Phosphor kann das Pflanzenwachstum beeinträchtigen. Symptome eines Mangels können vermindertes Wurzelwachstum, verkümmerte Pflanzen mit dünnen Stängeln, violette Blattverfärbungen beginnend an den ältesten Blättern und eine schlechtere Fruchtbildung sein (AMBERGER, 1996). Landwirte können Phosphor in Form von Dünger in oder auf den Boden bringen, um Mängel zu beheben.

Kalium (K) ist ein Makronährstoff, der nach SCHUBERT (2011) einen wichtigen Einfluss auf die osmotischen Funktionen, die Enzymaktivierung und den elektrostatischen Ausgleich der Pflanze hat. Kalium ist als Ion in der Bodenlösung pflanzenverfügbar vorzufinden und ist für die Steuerung des Wasserhaushaltes in der Pflanze zuständig. Weiterhin sorgt dieser Nährstoff für den „optimalen Quellungszustand in den Zellen“ (DOLESCHEL, 2014), was für die Kohlenhydratbildung, den Eiweißstoffwechsel und die Fotosynthese entscheidend ist. Eine besondere Bedeutung hat Kalium in Bezug auf die Frostresistenz und die Standfestigkeit der Pflanze, die durch hohe Kaliumkonzentrationen verbessert werden (DOLESCHEL, 2014). Ein Mangel an Kalium zeigt sich durch Erschlaffung und Welkeerscheinungen der älteren Blätter. Zusätzlich sind Aufhellungen an den Blatträndern erkennbar (DEGENHARDT, 2005).

Der Makronährstoff **Magnesium** (Mg) ist für die Pflanze ein essentieller Nährstoff, der für die Fotosynthese und die Enzymaktivierungen unerlässlich ist. Er ist das Zentralatom des Chlorophylls und verleiht der Pflanze damit ihre Grünfärbung (SCHUBERT, 2011). Magnesium verbessert die Stressresistenz bei klimatischen Stressfaktoren wie Trockenheit oder besonders hohen Temperaturen. Die Aufnahme von Magnesium wird durch viele Wechselwirkungen beeinflusst (DOLESCHEL, 2014). So können hohe Kalium- und Ammoniumgehalte im Boden zu einem Magnesium-Mangel führen. Hingegen wirken Nitrat-Ionen positiv auf die Magnesiumaufnahme (YARA, 2023). Magnesiummangel zeigt sich durch schnurartige gelblich bis weiße Streifen entlang der Blattadern (DEGENHARDT, 2005). Durch die gute Wasserlöslichkeit von Magnesium (YARA, 2023) sind Sandböden schnell von Auswaschungen und Verlagerungen betroffen (DEGENHARDT, 2005).

Das Land Brandenburg gab für Trockengebiete in der „Richtwertesammlung Düngerecht“ aus dem Jahr 2020, Nährstoffgehalte für Phosphor, Kalium und Magnesium bekannt, welche in Anhang 2 einzusehen sind. Bezugnehmend auf die erläuterten Nährstoffe zeigt Tabelle 6 den

Nährstoffbedarf der im Versuch stehenden Pflanzen Silomais, Stangenbohne, Sonnenblume und Sorghum. Der Stickstoffbedarf bezieht sich auf die Stickstoffbedarfswerte der Düngeverordnung (BFJ, 2024). Für den Bedarfswert des Nährstoffes wurde das Mittel aus Minimum und Maximum ermittelt. Unter den vier Kulturen haben Silomais und Sorghum den höchsten Bedarf an Stickstoff. Der höchste Bedarf an Phosphor und Kalium zeigt sich in den Kulturen Sonnenblume und Sorghum.

Tabelle 6: Nährstoffbedarf von Silomais, Stangenbohnen, Sonnenblumen und Sorghum (BFJ, 2024; YARA, 2023a; YARA, 2023b; YARA, 2023c; WEINHAPPEL, et al., 2020a)

| Nährstoff | Bedarf in kg /ha | | | |
|------------|------------------|--------------|-------------|---------|
| | Silomais | Stangenbohne | Sonnenblume | Sorghum |
| Stickstoff | 200 | 100 | 120 | 200 |
| Phosphor | 30 | 45 | 65 | 70 |
| Kalium | 105 | 120 | 175 | 200 |
| Magnesium | 50 | 30 | 45 | 25 |

Nach MARSCHNER (2012) produzieren C₄-Pflanzen pro Kilogramm Stickstoff höhere Erträge, als C₃-Pflanzen, was für eine bessere Stickstoffnutzungseffizienz spricht. Die Stickstoffeffizienz kann auch vom Nährstoffentzug abgeleitet werden. Dabei wird die Menge an Stickstoff (kg) verglichen, die die Pflanze pro erzeugter Tonne Frischmasse benötigt. Tabelle 7 zeigt die Nährstoffentzüge der im Versuch stehenden Kulturen. Die Werte beziehen sich auf Faustzahlen des KTBL und die Nutzung der Pflanzen zur Futtergewinnung. Da die Stangenbohne nicht direkt aufgeführt wird, wurde eine Tendenz aus den Körnerleguminosen gezogen. Im Vergleich zeigt die Sonnenblume den niedrigsten Stickstoffentzug und die Stangenbohne den Höchsten. Die Werte in Tabelle 7 lassen darauf schließen, dass die Sonnenblume, durch die niedrigen Entzüge, eine stickstoffeffiziente Kultur darstellt.

Tabelle 7: Stickstoffentzüge von Mais, Stangenbohne, Sonnenblume und Sorghum (ACHILLES, et al., 2018)

| Stickstoffentzug (kg N/t TM) | | | |
|------------------------------|--------------|-------------|---------|
| Silomais | Stangenbohne | Sonnenblume | Sorghum |
| 3,4 | > 5 | 2,7 | 3,0* |

*(LFL, 2013)

In vielen Fällen hängt die Nährstoffnutzungseffizienz auch vom Wurzelwachstum ab (MARSCHNER, 2012). Nach PANHWAR (2019) ist zusätzlich die Versorgungsgeschwindigkeit mit Pflanzennährstoffen entscheidend. Auch die Rhizosphäre, der Raum um die Wurzel, spielt nach ZHANG (2010) eine entscheidende Rolle. So kann mit kleinen Veränderungen, wie zum Beispiel die Ansäuerung der Rhizosphäre, die Nährstoffaufnahme der Wurzeln gesteigert werden (ZHANG, 2010). Hinsichtlich der Phosphoreffizienz beschrieb LI, et al. (2011), dass Leguminosen aufgrund ihrer Stickstofffixierungsleistung eine gesteigerte Phosphoraufnahme zeigen. Es wurde belegt, dass Mais durch eine erhöhte Zufuhr an Stickstoff circa die gleiche Menge Phosphor aus dem Boden aufnehmen kann, wie eine die Sojabohne (Leguminose) (LI, et al., 2011).

In Freiland- und Gewächshausversuchen zur Phosphoreffizienz von Mais, Sonnenblumen und Sojabohnen konnten die Ergebnisse in Anhang 3 erzielt werden (FERNÁNDEZ, et al., 2008). Im Feldversuch konnten bei niedrigem Phosphorniveau signifikant längere Wurzeln bei der Sonnenblume gemessen werden. Eine ähnliche Tendenz zeigte sich bei einem hohen Phosphorniveau. Bei Betrachtung der Wurzelfläche zeigte auch hier die Sonnenblume signifikant höhere Werte bei niedrigem Phosphorniveau. Sojabohne und Mais zeigten in diesem Vergleich keine signifikanten Unterschiede. Mit der Erhöhung des Phosphorniveaus sank die Wurzelfläche der Sonnenblume, womit sie auf einem ähnlichen Niveau wie die Sojabohne stand. Mais zeigte unter niedrigen und hohen Phosphorniveaus in Wurzellänge und -fläche die geringsten Werte unter den drei verglichenen Kulturen. Lediglich der Wurzeldurchmesser war bei Mais im Feldversuch tendenziell höher, als bei der Sojabohne und Sonnenblume (FERNÁNDEZ, et al., 2008).

2.3.5 Pflanzenschutz

Pflanzenschutzmittel sollen die Kulturen auf dem Feld vor Konkurrenzpflanzen sowie Krankheiten und Schädlingen schützen. Innerhalb der Herbizide (Unkrautbekämpfungsmittel) wird zwischen blatt- und bodenaktiven Mitteln unterschieden. Ziel ist es die Beikräuter mithilfe chemischer Mittel zu entfernen, um den Konkurrenzdruck um Luft, Wasser und Licht zu minimieren (ADAMA, 2024). Neben den Herbiziden spielen auch die Fungizide eine zentrale Rolle. Sie schützen die Pflanze vor pilzlichen Erregern. Um dem Keimling zu Vegetationsbeginn einen guten Schutz zu bieten, wird um das Saatkorn eine fungizide Beize gelegt.

In Tabelle 8 sind die im Versuch stehend Kulturen Mais, Stangenbohne, Sonnenblume und Sorghum mit deren Beizausstattung aufgezeigt. Mais und Sorghum können dabei mit den gleichen Wirkstoffen gebeizt werden. Da es in Abhängigkeit von der Zulassungssituation

jährlich Änderungen in dem Beizmittel geben kann, wurde in Tabelle 8 der Stand vom Feldversuch im Jahr 2023 dargestellt. Die Kulturen Mais und Sorghum wurden mit dem gleichen Beizmittel behandelt. Die Beizmittel der Stangenbohne und Sonnenblume wiesen den gleichen Wirkstoff auf. Recherchen im Juli 2024 ergaben, dass die Zulassung der Beize *Redigo M* bis 2026 verlängert wurde (REIFFEISEN, 2024).

Tabelle 8: Beizausstattung der Versuchskulturen (REIFFEISEN, 2024; REIFFEISEN, 2024a; BLV, 2024)

| | Mais | Stangenbohne | Sonnenblume | Sorghum |
|------------|--|--|--|--|
| Beizmittel | <i>Redigo M</i> Zulassung bis 30.06.2024 | <i>Celest</i> Zulassung bis 15.06.2026 | <i>Maxim 025 FS</i> Zulassung bis 15.06.2026 | <i>Redigo M</i> Zulassung bis 30.06.2024 |
| Wirkstoff | 20 g/l Metalaxyl, 100 g/l Prothio- conazol | 25 g/l Fludioxonil | 25 g/l Fludioxonil | 20 g/l Metalaxyl, 100 g/l Prothio- conazol |
| Wirkung | Fusariumarten, Pythium-Arten | Fusariumarten, Ascochyta spec. | Auflauf- krankheiten, Falscher Mehltau | Fusariumarten, Pythium-Arten |

Im Maisanbau liegt die Konzentration des chemischen Pflanzenschutzes auf der Herbizidbehandlung. Eine Übersicht über die verfügbaren Herbizidwirkstoffe und deren Wirkungsmechanismen im Jahr 2023 ist in Anhang 4 einzusehen. Bis zum 10-Blatt-Stadium stellen Beikräuter eine hohe Konkurrenz für den Mais dar. Ohne eine Unkrautbekämpfung ist mit hohen Ertrags- und Qualitätseinbußen zu rechnen, da die Beikräuter den Mais überwachsen würden. Terbuthylazin stellt dabei einen alten, aber sehr effektiven Bodenwirkstoff dar, der allerdings unter ungünstigen Bedingungen, wie die Anwendung auf leichten durchlässigen Böden, eine hohe Belastung für das Grundwasser darstellen kann (GEHRING, 2008). Daher wurde im Dezember 2021 eine neue Anwendungsbestimmung für terbuthylazinhaltige Herbizide in Deutschland verfasst. Diese hält fest, dass innerhalb von 3 Jahren maximal 850 g Terbuthylazin pro Hektar ausgebracht werden dürfen. Dies betrifft Mittel wie *Aspect*, *Calaris*, *Gardo Gold*, *Spectrum Gold* und *Successor T* (LFL, 2022).

Anhang 5 zeigt eine Auswahl der aktuell zugelassenen Herbizidwirkstoffe und deren Anwendungsbestimmungen für Mais nach ANDREAS, et al. (2023). Neben dem Bodenwirkstoff Terbuthylazin stehen vorrangig auch die Wirkstoffe Dimethenamid-P oder Pendimethalin zur Verfügung. Hierbei handelt es sich hauptsächlich um Zellteilungshemmer. Zu den vorwiegend

blattaktiven bzw. boden- und blattaktiven Wirkstoffen zählen auch die Sulfonylharnstoffe, sowie die sogenannten „Bleacher“ wie Meso- und Tembotrione. Während boden- und blattaktive Herbizide ein breites Spektrum an Unkräutern abdecken, haben die Spezialherbizide eine starke Wirkung gegen spezielle Unkräuter, wie z.B. Franzosenkraut, Kamille, Ackerkratzdistel, Amaranth oder Windenknöterich. In der Kultur Mais gibt es eine Vielzahl von Wirkstoffen, was eine wirksame Herbizidbekämpfung ermöglicht. Durch die Einschränkung mit dem Wirkstoff Terbuthylazin sind die Landwirte angehalten auf den Wirkstoffwechsel zu achten. Dabei wird die Auswahl der Bodenherbizide minimiert und der Fokus auf die Blattherbizide gesetzt. Da S-Metolachlor im Jahr 2024 seine Zulassung verliert bzw. die Zulassung nicht verlängert wird, fällt dieser Wirkstoff ab 2025 weg. Das Mittel Focus-Ultra darf nur in sogenannten Duo-Sorten eingesetzt werden, bei denen eine Cycloxydim-Resistenz vorliegt.

Für die Herbizidbehandlung in Stangenbohnen stehen vorwiegend Bodenwirkstoffe zur Verfügung, welche im Voraufbau ausgebracht werden müssen. Eine Besonderheit stellt hier das *Focus Ultra* dar, da es das einzige im Nachaufbau zugelassene Mittel ist. In Anhang 6 werden die aktuell zugelassenen Herbizide in der Kultur Stangenbohne aufgezeigt.

In der Ackerkultur Sonnenblume stehen die in Anhang 7 aufgeführten Mittel und Wirkstoffe zur Verfügung. Daneben gibt es noch die Möglichkeit von *Clearfield-Clentiga*, welches sich auf die ausschließliche Anwendung in Imazamox-resistenten Sonnenblumensorten beschränkt. Dabei ist eine Bekämpfung im 2- bis 4-Blatt-Stadium möglich. Das angewendete Pflanzenschutzmittel ist unter dem Namen *Pulsar* bekannt. Ähnlich ist eine Anwendung mit *Pointer SX* in Tribenuron-resistenten Sonnenblumensorten möglich (ANDREAS, et al., 2023).

Für die Herbizidbehandlung im Sorghum stehen die in Anhang 8 einzusehenden Mittel und Wirkstoffe zur Verfügung. Da S-Metolachlor im Jahr 2024 seine Zulassung verliert bzw. die Zulassung nicht verlängert wird, fällt das Mittel *Gardo Gold* ab 2025 weg.

Für die chemischen Unkrautbekämpfung in Mais-Gemengen muss sich an dem Gemengepartner orientiert werden, der die geringste Anwendungsmenge und frühesten Anwendungszeitraum vorgibt. Die Gemeinsamkeit liegt hierbei bei den Herbiziden *Spectrum* und *Stomp Aqua* und dessen Anwendung im Voraufbau. Da die Gemenge in Reihenkultur angebaut werden, wie im Feldversuch dargestellt, ist neben der chemischen Unkrautbekämpfung auch eine mechanische Bekämpfung möglich. Im ökologischen Landbau ist das Hacken von Kulturen wie Mais und Sonnenblume üblich. Zusätzlich kann, unabhängig vom Anbau im Gemenge oder als Einzelkultur, im Voraufbau gestriegelt werden. Durch die Einschränkung der chemischen Herbizidanwendung auf den Voraufbau kann eine kombinierte Variante mit Hacken im Nachaufbau in Betracht gezogen werden.

2.3.6 Ertragsparameter

Der **Ertrag** bezeichnet „das Ergebnis der wirtschaftlichen Leistung“ (SIMON, 2023). Bei Feldkulturen wird dieser oft in der Einheit Dezitonnen pro Hektar (dt/ha) oder Tonnen pro Hektar (t/ha) gemessen. Der Ertrag ist von Faktoren wie der Witterung (Niederschlag, Sonnenstunden, Temperatur), dem Saatzeitpunkt und Saatbedingungen sowie der Sortenwahl und dem Krankheits- und Schädlingsdruck abhängig (SIMON, 2023). Nach REGENSTEIN (2023) liegt die optimale Schnitthöhe von Silomais bei mind. 30 cm. Ein Hochschnitt bei ca. 50 cm kann den Stärkeanteil der Maissilage beeinflussen (RICHARDT, et al., 2022).

Beim Mais wird oft zusätzlich das **Kolbengewicht** ermittelt, um anschließend ein Kolben-Restpflanzen-Verhältnis zu ermitteln. „Ein geringer Kolbenanteil hat einen geringeren Stärkegehalt zur Folge.“ (SCHUSTER, et al., 2021). Nach der Studie von SCHUSTER, et al. (2021) führt ein zu geringer Kolbenanteil und ein damit verbundener hoher Restpflanzenanteil zu einer Verdünnung der Silage und deren Inhaltsstoffe. Das Ziel ist ein Verhältnis von Kolben und Restpflanze von 50:50 zu erreichen, was bedeutet, dass die Pflanzen in ihrem Gewicht zu 50 % vom Kolben und 50 % der Restpflanze bestimmt wird (SCHUSTER, et al., 2021).

2.3.7 Rohnährstoffe

Die Bewertung von Futtermitteln ist von entscheidender Bedeutung, um eine optimale Ernährung für Nutztiere sicherzustellen. Futteranalytische Kennzahlen spielen dabei eine zentrale Rolle, da sie Einblicke in die Zusammensetzung und Qualität von Futtermitteln ermöglichen. In diesem Zusammenhang werden verschiedene Analysemethoden eingesetzt, darunter die nass-chemische Analyse und die Nahinfrarotspektroskopie (NIRS).

Die **nass-chemische Futtermittelanalyse** beruht auf der erweiterten Weender-Analyse, wobei die Futtermittel mithilfe chemischer Reaktionen in ihre einzelnen Verbindungen und Rohnährstoffe aufgespalten werden. Sie charakterisiert sich, trotz des hohen Zeitaufwandes, durch eine hohe Genauigkeit der Analysewerte und die Möglichkeit unbekannte Proben zu analysieren (VAN AERSSSEN, et al., 2023). Die Ergebnisse der nass-chemischen Analyse werden als Referenzdaten für die Kalibrierung von NIRS-Geräten genutzt.

Die **Futtermittelanalyse** mittels **NIRS** (Nahinfrarotspektroskopie) ist ein Verfahren, was schnell und kostengünstig arbeitet, allerdings eine Kalibration mit Referenzproben der untersuchten Parameter voraussetzt. Die NIRS-Analyse basiert auf der Wechselwirkung von Nahinfrarotlicht mit den Molekülen in der Futtermittelprobe. Dabei wird die Absorption von Licht in den verschiedenen Wellenlängenbereichen gemessen (JEROCH, et al., 2008; UNI KASSEL, 2023).

Um verwendbare Analyseergebnisse zu erhalten, ist eine korrekte Probenahme die Voraussetzung. Aus mehreren gut verteilten und gleichen Einzelproben, welche nach dem Zufallsprinzip gezogen werden, wird eine Sammelprobe hergestellt. Aus dieser gut durchmischten Sammelprobe wird dann die Endprobe gezogen, welche luftdicht und geschützt vor äußeren Einflüssen verpackt und unmittelbar gekühlt zum Labor transportiert werden muss (JEROCH, et al., 2008).

Die Bestimmung der **Trockensubstanz** erfolgt mittels schonender Trocknung in einem Trockenschrank. Die Probe wird „so lange getrocknet, bis das Material“ (JEROCH, et al., 2008) fein zermahlen werden kann. Die Massewerte zwischen der frischen und getrockneten Probe werden dann miteinander verrechnet. Die Trockensubstanz besteht aus einem verbrennbaren und unverbrennbaren Teil und sollte beim Mais zwischen 28 % und 35 % liegen (JEROCH, et al., 2008; KIRCHGEßNER, 1997).

Bei 550 °C wird die Trockensubstanz in einem Ofen verascht, woraus dann die nichtverbrennbare anorganische **Rohasche** ermittelt wird (KIRCHGEßNER, 1997). Rohasche wird hauptsächlich durch Mineralstoffe und Verunreinigungen charakterisiert, welche den Futterwert senken und sich negativ auf die Verdaulichkeit auswirken können (JEROCH, et al., 2008). Ein Überschuss kann nach ULBRICH, et al. (2004) zu Versandungen der Verdauungsorgane und bei Wiederkäuern zu einer Pansenalkalose führen (ULBRICH, et al., 2004).

Die Bestimmung des **Rohprotein** basiert auf dem Stickstoffgehalt der Probe und wird daraus errechnet. Die quantitative Bestimmung des Stickstoffs wird mittels des Kjeldahl-Verfahrens durchgeführt (JEROCH, et al., 2008; KIRCHGEßNER, 1997). Proteine bzw. Eiweiße bestehen aus Aminosäuren, von denen einige von essentieller Bedeutung für Nutztiere sind, da sie diese nicht selbst im Körper bilden können. Daher müssen sie über das Futter zugeführt werden. Für Milchkühe ist die Versorgung mit der essentiellen Aminosäure Methionin besonders wichtig, da sie als „Grundbaustein für die Milchproteinbildung sowie als Hilfsstoff im Leberstoffwechsel“ (NORDHAUSEN, 2023) benötigt wird. Ein Mangel an Methionin kann zu einer geringeren Milchleistung und Milcheiweißbildung führen. Zusätzlich erhöht sich das Risiko der Leberprobleme (NORDHAUSEN, 2023). Threonin, ebenfalls eine essentielle Aminosäure, ist wichtig für das Immun- und Verdauungssystem. Tryptophan ist für das Nervensystem eine wichtige Aminosäure, da es eine Anti-Stress-Funktion hat (FOODCOM EXPTERS, 2022). Innerhalb der Futteranalysen wurden keine Aminosäuren analysiert, weshalb diese fortführend nicht näher beleuchtet werden. Nach ULBRICH et al. (2004) verursacht ein Überschuss an Rohprotein in der Fütterung eine erhöhte Leber- und Nierenbelastung. Bei Wiederkäuern können Alkalose, Endometritis, Ketose, Klauenentzündungen oder Tetanie auftreten. Ein Mangel im Nutztier bewirkt den Abbau von Muskelprotein, senkt die Enzymsynthese sowie die

Anzahl der roten und weißen Blutkörperchen. Dies führt zu einer verminderten Antikörperbildung und damit einer schwachen Immunabwehr, was zu einem erhöhten Infektionsrisiko führt. Speziell bei Wiederkäuern sorgt ein Rohproteinmangel zu einer verminderten Futteraufnahme und eine eingeschränkte mikrobielle Proteinsynthese (ULBRICH, et al., 2004).

Zur Bestimmung der **Rohfaser** wird die Futtermittelprobe in 0,13 Mol Schwefelsäure gekocht und anschließend mit einer 0,23 Mol Kalilauge behandelt. Übrig bleibt ein organischer Rückstand, die Rohfaser. Die Rohfaserfraktionen enthalten unter anderem die Zellgerüstsubstanzen Cellulose, Hemicellulose und Lignin (JEROCH, et al., 2008). Ein Überschuss an Rohfaser kann bei Wiederkäuern eine Pansenalkalose verursachen. Mangelerscheinungen äußern sich bei Rindern als Ketose, Gebärparese oder Euterentzündungen (ULBRICH, et al., 2004).

Mithilfe der Detergenzienmethode können zusätzlich die **Faserfraktionen** und Zellwandbestandteile der Rohfaser erfasst werden. Den Analysewert zur NDF (neutrale Detergenzien Faser) erhält man „nach dem Kochen der Futtermittelprobe in neutrale Detergenzienlösung (Natriumlaurylsulfat [...]“ (JEROCH, et al., 2008). Die NDF enthält Hemicellulosen, Cellulose und Lignin. Dem NDF-Gehalt kommt nach DE KRUIF, et al. (2014) eine besondere Bedeutung zu, „da diese Fraktion eine höhere Strukturwirksamkeit hat“ (DE KRUIF, et al., 2014). Nach dem Kochen mit der schwefelsauren Detergenzienlösung Cetyltrimethylammoniumbromid bleiben noch Cellulose und Lignin übrig, welche auch als ADF (saure Detergenzienfaser) bezeichnet werden (JEROCH, et al., 2008). Um die Einzelkomponente Lignin daraus zu bestimmen, wird die Probe weiter mit höher konzentrierter Schwefelsäure (72 %) behandelt. Diese Fraktion wird dann als ADL (saures Detergenzignin) bezeichnet (JEROCH, et al., 2008). „Lignin ist die verholzte Faser eines Futtermittels. Es ist für den Wiederkäuer nicht verdaulich. Je mehr Lignin in einem Futtermittel, desto schlechter ist die Verdaulichkeit des Futtermittels.“ (AGRO RESULTS, 2024). „Die NFC (Nicht-Faser-Kohlenhydrate stellen die löslichen Kohlenhydrate wie Stärke, Zucker und Pektine eines Futtermittels dar.“ (AGRO RESULTS, 2024). Dieser Wert wird rechnerisch ermittelt. In der vorliegenden Arbeit wird diesem Parameter in der Ergebnisdarstellung und Diskussion keine Bedeutung zugespielt. Abbildung 3 zeigt die Zusammensetzung der Faser- und Kohlenhydratfraktionen nach DE KRUIF, et al. (2014).

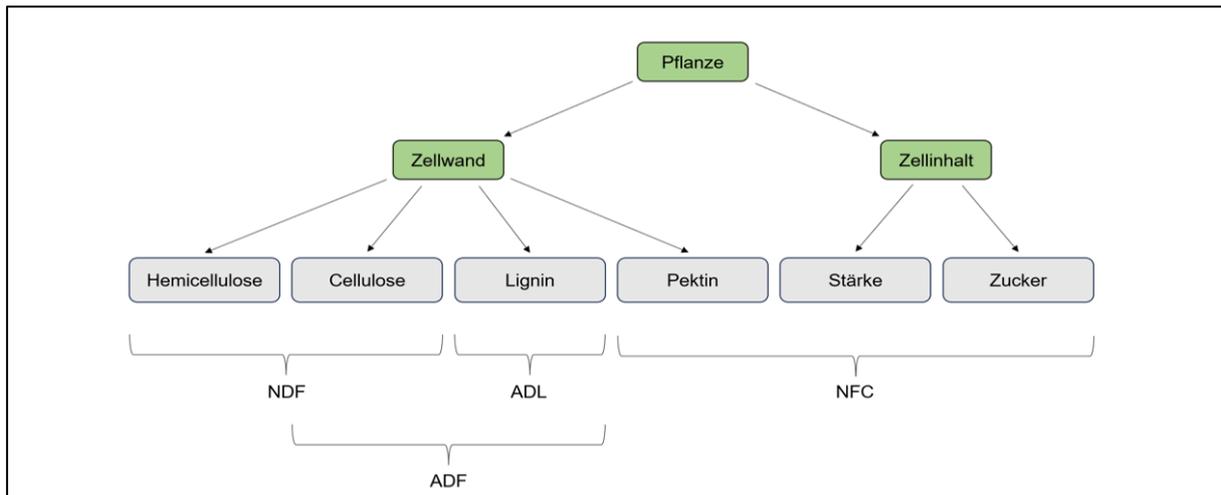


Abbildung 3: Zusammensetzung der Faserfraktionen nach DE KRUIF, et al. (2014)

Tabelle 9 zeigt Richtwerte für die Faserfraktionsanteile bei der Milchküfütterung. Betrachtet wurden dabei vier verschiedene Quellen. Hinsichtlich der ADF und NDF sind die Richtwerte zwischen den Quellen ähnlich bis identisch. Die Datengrundlage für ADL-Richtwerte ist als schwach einzustufen, da von den vier angegebenen Quellen nur zwei ADL-Richtwerte angegeben. Diese zeigen leichte Abweichungen.

Tabelle 9: Richtwerte der Faserfraktionen für Silomais (LKS nach MAHLKOW-NERGE, et al., 2021, RICHARDT, 2018, LUFA, 2023; LKV BB, 2024; RESCH, 2023)

| Analysenwert | Einheit | Richtwert | | | |
|--------------|---------|------------------------|-------------------|---------------------|-----------|
| | | LKS ³ | LUFA ⁴ | LKV BB ⁵ | Resch |
| ADF | g/kg TS | 210 – 216 ¹ | 200 – 250 | 200 – 230 | |
| NDF | g/kg TS | 361 – 399 ¹ | 350 – 400 | 350 – 400 | 350 – 400 |
| ADL | g/kg TS | 15 – 25 ² | | | 0 – 30 |

¹ MAHLKOW-NERGE, et al. (2021)

² RICHARDT (2018)

³ Landeskontrollverband Sachsen

⁴ Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt

⁵ Landeskontrollverband Berlin-Brandenburg

Stärke zählt neben Glykogen und Zucker zu den Kohlenhydraten und dient dem Nutztier hauptsächlich als Energielieferant (LOCHNER, et al., 2011). Diese werden beim Wiederkäuer im Pansen zu Pyruvat umgewandelt aus dem die Endprodukte Acetat, Propionat, Butyrat und Methan gebildet werden. Zwischen Futtermitteln wie Getreide und Mais, die höhere Anteile an

Stärke aufweisen, bestehen Unterschiede hinsichtlich der Stärkekomponenten Amylose und Amylopektin, welche einen Einfluss auf den Stärkeabbau im Pansen (bei Wiederkäuern) haben. Rund 30 % der Maisstärke passieren den Pansen unverändert, dieser Anteil wird als Durchflusstärke bezeichnet. Er wird langsamer abgebaut, als Getreidestärke (JEROCH, et al., 2008). Nach ULBRICH et al. (2004) verursacht ein Überschuss von Stärke im Futter einen gesteigerten Fettansatz, was zu einer Ketose führen kann. Ein Mangel kann sich negativ auf die Fruchtbarkeit des Nutztieres auswirken (JEROCH, et al., 2008).

Zur Bestimmung des **Rohfettes** wird eine Extraktion mit dem Fettlösungsmittel Petrolether durchgeführt (KIRCHGEßNER, 1997; JEROCH et al., 2008). Fettlösliche Vitamine sind zum Beispiel Beta-Carotin, Vitamin A, D₃ und E. Beta-Carotin ist für die Fruchtbarkeit und Gesundheit des Tieres zuständig (TIEFENTHALLER, 2016), Vitamin A für Wachstumsvorgänge und die embryonale Entwicklung, Vitamin D₃ unterstützt das Immunsystem und Vitamin E schützt die Zellmembran vor ihrer Zerstörung und hat positive Einflüsse auf die Eutergesundheit (TIEFENTHALLER, 2016). Nach ULBRICH, et al. (2004) verursacht ein Überschuss an Rohfett bei Wiederkäuern eine verminderte Celluloseverdaulichkeit und eine Senkung der Milchinhaltsstoffe. Ein Mangel an Rohfett zeigt sich bei landwirtschaftlichen Nutztieren durch eine ungenügende Absorption fettlöslicher Vitamine (ULBRICH, et al., 2004). Ein Vitaminmangel kann sich auf den Stoffwechsel, das Immunsystem oder die Leistung des Tieres negativ auswirken (LEXA, 2022).

Die Bestimmung der enzymlöslichen organischen Substanz (**ELOS**) ist eine Möglichkeit die Verdaulichkeit eines Futtermittels ohne Tierversuche zu erfassen (HENKELMANN, et al., 2023). Im Labor werden dabei die Futtermittel mit Verdauungsenzymen behandelt, um die Abbaubarkeit des Futters zu simulieren. Bei der Cellulasemethode werden der Probe Pepsin-Salzsäurelösung bzw. Cellulaselösung zugemischt. Der ELOS-Wert bezieht sich auf die Verdaulichkeit der Restpflanze. Nicht ersichtlich ist woher hohe Werte und damit gute Verdaulichkeiten stammen. Dies kann auf hohe Stärkegehalte oder gute Faserverdaulichkeiten zurückzuführen sein (PIONEER, 2016).

Die Nettoenergie-Laktation (**NEL**) stellt die für die Milchleistung aufgewendete Energie dar und ist ein Futterbewertungssystem speziell für Milchkühe (LOCHNER, et al., 2011). Angegeben wird dieser Wert in Megajoul. Der NEL-Bedarf ist zwischen dem Erhaltungs- und Leistungsbedarf einer Milchkuh zu unterscheiden. Der Erhaltungsbedarf bezieht sich auf den Erhalt der Lebensfunktionen, die Verdauung, Bewegungsleistung, Futteraufnahme und Körpertemperatur. Bei einer Milchkuh mit einem Lebendmassegewicht von 500 kg beträgt der Erhaltungsbedarf nach JEROCH, et al. (2008) 31,0 MJ NEL pro Tag. Bei einer Milchkuh mit 600 kg Lebendmasse beträgt dieser 35,5 MJ NEL pro Tag. Der Leistungsbedarf einer Milchkuh richtet sich nach der Milchmenge und dessen Fett- und Eiweißgehalt. So benötigt eine 600 kg

schwere Milchkuh mit einer Milchleistung von 30 kg pro Tag, einem Milchfettgehalt von 4 % und einem Milcheiweißgehalt von 3,5 % einen Leistungsbedarf von 95,5 MJ NEL pro Tag. Die Summe aus Erhaltungs- und Leistungsbedarf ergibt den täglichen Energiedarf des Tieres. In diesem Fall (600 kg Lebensmasse) sind das 131 MJ NEL (JEROCH, et al., 2008). Nach ULBRICH et al. (2004) verursacht ein Überschuss an NEL eine Umwandlung der Energie in Depotfett und damit eine erhöhte Organbelastung und Mastitis. Damit einher gehen geringere Nutzungsdauern der Tiere oder Azidose. Ein Mangel kann die Proteinsynthese senken, sowie Ketosen oder Gebärparesen hervorrufen (ULBRICH et al., 2004).

In Tabelle 10 werden die Richtwerte der vorherig erläuterten Rohnährstoffe aufgezeigt. Dabei wurden drei verschiedene Quellen betrachtet.

Tabelle 10: Futtermittelrichtwerte Silomais (LKS, 2023; LUFA, 2023; SCHAUMANN, 2023)

| Analysewert | Einheit | Richtwert | | |
|-----------------|----------|------------------|-------------------|-----------|
| | | LKS ¹ | LUFA ² | Schaumann |
| Trockensubstanz | % | 28 – 35 | 28 – 35 | 30 – 35 |
| Rohasche | g/kg TS | < 45 | < 45 | < 45 |
| Rohprotein | g/kg TS | 75 – 90 | < 90 | 70 – 80 |
| Rohfaser | g/kg TS | 170 – 220 | 170 – 200 | < 200 |
| Rohfett | g/kg TS | 25 – 40 | 20 – 50 | |
| Stärke | g/kg TS | 300 – 380 | > 300 | > 300 |
| ELOS | g/kg TS | 600 – 750 | > 650 | > 700 |
| NEL | MJ/kg TS | 6,3 – 6,8 | > 6,5 | > 6,5 |

¹ Landeskontrollverband Sachsen

² Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt

Bei Betrachtung der Richtwerte der verschiedenen Quellen sind Abweichungen zu erkennen. Wo der LKS Mindest- und Höchstwerte angibt, setzen die LUFA und Schaumann in den meisten Fällen auf Mindestwerte. Einig sind sich alle drei Quellen bei dem Richtwert für Rohasche. Ebenso ähnlich sind die Annahmen der Trockensubstanzgehalte. Unterschiedliche Meinungen gibt es beim Richtwert zu ELOS. Die LKS ruft dabei mindestens 600 g/kg TS auf, Schaumann dagegen mindestens 700 g/kg TS. Aufgrund der Tatsache, dass ein Überschuss an Inhaltsstoffen negative Auswirkungen auf die Gesundheit des Tieres haben kann, ist die Angabe einer Obergrenze als sinnvoll einzustufen.

Das **DCAB**-Konzept, übersetzt Kationen-Anionen-Bilanz, stammt aus den USA und stellt eine Möglichkeit dar, die Mineralstoffversorgung zu überprüfen. Der DCAB-Wert berechnet sich aus der folgenden Formel (DE KRUIF, et al., 2014):

$$DCAB = (Na + K) - (Cl + S)$$

Alle Werte werden in der Einheit meq (Milliäquivalente) angegeben. Der DCAB-Wert bezieht sich dabei immer auf 1 kg Trockenmasse.

Der Mineralstoffhaushalt ist „für Gesundheit, Stabilität und Leistungsfähigkeit einer Milchkuh von großer Bedeutung.“ (HOFFMANN, 2021). Entscheidend ist dabei das Verhältnis von positiv geladenen Ionen zu negativ geladenen Ionen. Zu den starken Ionen, die den Säure-Basen-Haushalt beeinflussen, zählen Natrium (Na^+), Kalium (K^+), Schwefel (S^{2-}) und Chlor (Cl^-). Das Verhältnis dieser Ionen kann „Pansenfermentationsstörungen, Azidosen, Alkalosen, Gebärgparese (Milchfieber) [und] Osteoporosen“ (HOFFMANN, 2021) hervorrufen. Höhere Mengen der Anionen Schwefel und Chlor senken den DCAB-Wert und haben eine saure Wirkung. Die Kationen Natrium und Kalium erhöhen dagegen den Kennwert und haben eine alkalische Wirkung. Bei laktierenden Kühen sollte ein DCAB von 350 meq/kg TS nicht überschritten werden, da sonst eine verminderte Futteraufnahme und Muskelkontraktionen, sowie eine Verschlechterung der Pansenmotorik auftreten können. Ein zu niedriger DCAB (< 100 meq/kg TS) verursacht eine metabolische Azidose, gefolgt von der Zunahme entzündlicher Prozesse, Klauenrehe oder Immunsuppression (HOFFMANN, 2021). Der DCAB darf nicht alleinstehend betrachtet werden, wichtig ist die Beachtung der Grenzwerte der Elemente Natrium, Kalium, Chlor und Schwefel.

Natrium ruft ab einer Überschreitung von 2 g/kg TS verminderte Futteraufnahmen und Leistungsdepressionen hervor. Ein Mangel bedingt Zellstoffwechsel- und Fruchtbarkeitsstörungen oder auch Totgeburten (ULBRICH, et al., 2004; HOFFMANN, 2021).

Bei **Kalium** ist ab 15 g/kg TS ist mit einer gravierenden Störung zu rechnen. Dieser Überschuss kann unter anderem Labmagenverlagerungen, Ödembildungen, Fruchtbarkeitsstörungen und eine erhöhte Tränkwasseraufnahme verursachen (HOFFMANN, 2021). Ein Kaliummangel kommt selten vor und ist dann ursächlich für eine verminderte Futteraufnahme, Muskelschwächen und Festliegen (ULBRICH, et al., 2004; HOFFMANN, 2021).

„Der Bedarf [an **Chlor**] liegt zwischen 2 g/kg TS und 4 g/kg TS und der mögliche Höchstwert wird mit 8 g/kg TS angegeben [..]“ (HOFFMANN, 2021). Ein Mangel dessen führt zu Verdauungsstörungen und einer Beeinträchtigung der Kohlenhydratverdauung (ULBRICH, et al., 2004).

Bei **Schwefel** bedingt eine Überschreitung von 3 g/kg TS eine verminderte Futteraufnahme, ab 4 g/kg TS kommt es zu antagonistischen Wirkungen der Kupferabsorption, was zu einem

Kupfermangel führen kann (HOFFMANN, 2021). Bei Wiederkäuern bewirkt der Schwefelmangel eine gesenkte Celluloseverdaulichkeit und mikrobielle Proteinsynthese (ULBRICH, et al., 2004).

In Tabelle 11 werden die DCAB-Richtwerte verschiedenen Quellen aufgezeigt. Bei Betrachtung des Kalium-, Chlorid- und Schwefelgehaltes sind zwischen den Quellen Unterschiede zu erkennen. HOFFMANN (2021) und ULBRICH, et al. (2004) haben dabei die gleiche Tendenz, sowie ENGELHARD (2018) und JILG (2021). Auch die DCAB-Richtwerte geben Grund zur Diskussion, da ebenfalls hohe Abweichungen ersichtlich sind.

Tabelle 11: Richtwerte der Kationen-Anionen-Bilanz für Silomais (HOFFMANN, 2021; ULBRICH, et al., 2004; ENGELHARD, 2018); JILG, 2021)

| Analysenwert | Einheit | Richtwert | | | |
|--------------|-----------|-----------|---------|-----------|------------|
| | | Hoffmann | Ulbrich | Engelhard | Jilg |
| Natrium | g/kg TS | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,05 – 0,2 |
| Kalium | g/kg TS | 11,0 | 11,0 | 14,0 | 8 – 14 |
| Chlorid | g/kg TS | 3,0 | 3,1 | 1,7 | 1,7 |
| Schwefel | g/kg TS | 1,3 | 1,3 | 0,9 | 0,9 |
| DCAB | meq/kg TS | 80 – 180 | ca. 117 | 263 | ca. 250 |

Da es beim DCAB auf den Wert in der Gesamtration ankommt, muss bei der Rationsgestaltung auf die Werte der einzelnen Futtermittel geachtet werden. Futtermittel wie Grassilage, Heu, Sojaextraktionsschrot oder Melasse enthalten hohe Mengen an Natrium, Kalium, Chlorid und Schwefel und sorgen daher für hohe DCAB-Werte (HOFFMANN, 2021).

2.3.8 Silierparameter

Die **Silierung** stellt eine Möglichkeit der Futterkonservierung durch Milchsäuregärung unter pH-Absenkung dar, welche unter optimalen Bedingungen einen hohen Futterwert und gute Lagerstabilität schafft. Das Verfahren basiert auf dem Prinzip des Luftabschlusses (LÜTKE ENTRUP, et al., 2013). „Je schneller und konsequenter die Luftverdrängung und der Luftabschluss erfolgen, umso eher dominiert die Milchsäuregärung und desto rascher sinkt der pH-Wert im Erntegut ab.“ (LÜTKE ENTRUP, et al., 2013). Milchsäurebakterien konservieren unter Umwandlung von Zucker und Stärke die Maissilage (AGRO RESULTS, 2024). Der Gehalt an Milchsäure in der Silage liegt zwischen 5 % und 8 % (LÜTKE ENTRUP, et al., 2013). Neben der Milchsäure wird auch Essigsäure gebildet, welche mit einem Gehalt von 2 % bis 3 %

vorkommen sollte. Essigsäure unterdrückt Hefepilze und unterstützt die aerobe Stabilität am offenen Silo und damit die Nacherwärmung (LÜTKE ENTRUP, et al., 2013). Zu viel Essigsäure in einer Silage kann allerdings zu Akzeptanzproblemen der Rinder führen (AGRO RESULTS, 2024). Neben der Milch- und Essigsäure spielt die Buttersäure eine entscheidende Rolle. Sie ist ein Indikator für eine Fehlgärung durch den Eintrag von Erde und Schmutz in das Silo oder nasse Silagen mit anaeroben Bedingungen. In Tabelle 12 sind die Richtwerte für den pH-Wert sowie die Milch-, Essig- und Buttersäuregehalte verschiedener Quellen aufgezeigt.

Tabelle 12: Richtwerte der Gärssäurezusammensetzung für Silomais (SMUL, 2023; LUFA, 2023; LKV BB, 2024; LÜTKE-ENTRUP, et al., 2013)

| Analysewert | Einheit | Richtwert | | | |
|-------------|---------|-------------------|-------------------|---------------------|--------------|
| | | SMUL ¹ | LUFA ² | LKV BB ³ | Lütke Entrup |
| pH-Wert | | | 4 – 5 | < 4,2 | < 4,2 |
| Milchsäure | % TS | > 3 | > 5 | > 5 | 5 – 8 |
| Essigsäure | % TS | 2 – 3 | < 3 | < 3 | 2 – 3 |
| Buttersäure | % TS | < 0,3 | < 0,3 | < 0,3 | < 0,3 |

¹ Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft

² Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt

³ Landeskontrollverband Berlin-Brandenburg

2.3.9 Biogasproduktion

Neben der Nutzung für die Rinderfütterung dient Maissilage auch als Substrat für die Biogasanlage zur Methanproduktion. In Deutschland werden ca. 0,89 Mio. ha Mais für die Biogasproduktion angebaut. Das ist ca. ein Drittel der gesamten Maisanbaufläche (FNR, 2024a). „Im Jahr 2022 wurden in Deutschland 9.867 Biogasanlagen gezählt.“ (PAWLIK, 2024). Seit 1993 steigt die Anzahl der Biogasanlagen in Deutschland jährlich (PAWLIK, 2024). Nach einer Auswertung von AHRENS (2024a) ist Mais mit ca. 70 % der meistgenutzte nachwachsende Rohstoff in Biogasanlagen. Das bestätigt auch das *Deutsche Maiskomitee* (DMK, 2021).

Mithilfe von hydrolytischen Bakterien werden in der ersten Phase (Hydrolyse) die Substratbausteine (Kohlenhydrate, Fette, Eiweiße) aufgespalten. Die Kohlenhydrate werden in Einfachzucker, Fett in Fettsäuren und Eiweiße in Aminosäuren zerlegt (LÜTKE ENTRUP, et al., 2013). Die Zellbestandteile Hemicellulose und Zucker lassen sich schnell abbauen, wohingegen Cellulose nur langsam aufgeschlossen werden kann. Lignin ist in dieser Phase nicht abbaubar. In der darauffolgenden Phase, der Acidogenese, erfolgt der Abbau der Produkte in Propion-, Butter-, Valerian- und Ameisensäure. Weiterhin entstehen Wasserstoff

und Kohlenstoffdioxid. Ein anaerobes und saures Milieubildet sich. Entscheidend für die Methanbildung ist die Essigsäure. Bakterien wie *Clostridium* spp., *Acetobacterium* spp., *Synthrophomonas* spp., *Synthrophobacter* spp. und *Desulfovibrio* spp. können Valerian- und Ameisensäure in Essigsäure umwandeln. Die abschließende Bildung von Methan erfolgt unter anaeroben Gegebenheiten von Bakterien wie *Methanosarcina* spp., *Methanobacterium* spp. oder auch *Methanococcus* spp. Sauerstoff würde die methanogenen Bakterien abtöten (Kws, 2024).

Mithilfe von Blockheizkraftwerken (BHKW) kann dann Strom und Wärme erzeugt werden, die die Landwirtschaftsbetriebe selber nutzen können. Dafür wird mit dem erzeugten Biogas ein Verbrennungsmotor angetrieben, welcher „einen Generator zur Erzeugung von elektrischer Energie antreibt.“ (FNR, 2012). Seit 2021 wird die Bestückung einer Biogasanlage aufgrund des Gesetzes für erneuerbare Energien (EEG) beschränkt. Somit dürfen Betreiber einer Biogasanlage jährlich maximal 40 % Mais und Getreide einsetzen (EPS, 2024). Die Landwirte sind daher bestrebt Alternativen zu finden.

Nach LÜTKE ENTRUP, et al. (2013) kann bei Maissilage von einer Biogasbildung von 204 m³/t FM ausgegangen werden. Nach HERRMANN, et al. (2012) kann Mais eine Methanausbeute von 333 l/kg oTM erreichen. Sorghum erreicht daneben eine Methanausbeute von 297 l/kg oTM und Sonnenblumen von 250 l/kg oTM. Tabelle 13 zeigt Biogas- und Methanerträge verschiedener Silagen von Kulturen, welche für diese Arbeit relevant sind. Dabei zeigt sich, dass sich mit Mais im Vergleich zu Sonnenblume und Sudangras die höchsten Erträge produzieren lassen. Sonnenblume und Sudangras zeigen im Vergleich ein ähnliches Niveau auf.

Tabelle 13: Biogas- und Methanerträge in Mais, Sonnenblume und Sudangras (FNR, 2016)

| | Maissilage | Sonnenblumensilage | Sudangrassilage |
|--|------------|--------------------|-----------------|
| Biogasertrag (m ³ /t FM) | 200 | 120 | 128 |
| Methanertrag (m ³ /t FM) | 106 | 68 | 70 |

Für die Effizienz der Biogasanlage ist auch die Zusammensetzung der Maissilage entscheidend. Nach MUDHOO (2019) und LUQUE, et al. (2011) verursacht ein hoher Rohaschegehalt einen niedrigeren Methanertrag, da dieser anorganische Teil nicht zur Bildung von Biogas und Methan beiträgt. Je höher der Rohaschegehalt ist, desto niedriger ist der organische Anteil, der die Biogasproduktion fördert.

Der Rohproteingehalt eines Substrats hat mehrere Einflüsse auf die Biogasproduktion in einer Biogasanlage. Ein ausgeglichener Proteingehalt im Substrat trägt zur Nährstoffversorgung der methanogenen Bakterien bei und fördert so eine höhere Biogasproduktion. Proteine tragen zur mikrobiellen Aktivität bei, was die Biogasproduktion verbessern kann, wenn der Stickstoff in moderaten Mengen freigesetzt wird (WARD, et al., 2008). Ein hoher Rohproteingehalt im Substrat kann jedoch zu einer erhöhten Freisetzung von Ammonium-Stickstoff (NH_4^+) während der anaeroben Vergärung führen. Dies geschieht, weil Proteine reich an Stickstoff sind, der bei deren Abbau freigesetzt wird. Ammonium kann in hohen Konzentrationen toxisch für die Mikroorganismen sein, die den Methanbildungsprozess katalysieren, was zu einer Verringerung der Biogasproduktion führen kann (ANGELIDAKI, et al., 1993).

Der Rohfasergehalt und die Faserfraktionen (wie Zellulose, Hemizellulose, und Lignin) haben ebenfalls erhebliche Einflüsse auf die Biogasproduktion in einer Biogasanlage. Hohe Anteile an Lignin können die Biogasproduktion verlangsamen. Lignin ist eine komplexe und unlösliche Faserfraktion, die schwer von anaeroben Mikroorganismen abgebaut wird. Dies führt zu einer verzögerten Hydrolyse und Fermentation, wodurch die Gesamtverdaulichkeit des Substrats reduziert wird (AMON, et al., 2007). Lignin wirkt als physikalische Barriere, die den Zugang der Mikroorganismen zu den leichter abbaubaren Polysacchariden wie Zellulose und Hemizellulose einschränkt, was zu einer reduzierten Methanproduktion führt. Der Ligninanteil des Substrates sollte zwischen 20 % und 30 % liegen (HERMANN, et al., 2011).

Der Stärkegehalt in den Substraten, die in Biogasanlagen verwendet werden, hat einen starken Einfluss auf die Biogasproduktion. Substrate mit einem hohen Stärkegehalt, wie z.B. Mais, sind leicht abbaubar und haben eine hohe Energieverfügbarkeit. Dies führt zu einer höheren Methanausbeute in Biogasanlagen. Stärke wird schnell in fermentierbare Zucker umgewandelt, die leicht von anaeroben Mikroorganismen verstoffwechselt werden können, was zu einer effizienten Methanproduktion führt (WEILAND, 2010). Ein zu hoher Stärkegehalt (> 600 g/kgTM) kann jedoch auch negative Effekte haben, wie die Bildung von Schaum und eine mögliche Prozessinstabilität. Dies kann geschehen, wenn der Stärkegehalt zu schnell abgebaut wird und zu einer übermäßigen Produktion von flüchtigen Fettsäuren führt, die den pH-Wert destabilisieren können (DEMIREL, et al., 2008).

Der Rohfettgehalt in den Substraten für Biogasanlagen kann verschiedene Einflüsse auf die Biogasproduktion haben. Fette haben einen hohen Energiegehalt und können in anaeroben Biogasanlagen eine höhere Methanausbeute pro Einheit Substrat erzeugen als Kohlenhydrate oder Proteine. Dies liegt daran, dass Fette eine höhere kalorische Dichte haben und durch ihre lange Kohlenstoffkettenstruktur einen größeren Energiegehalt freisetzen können (LI, et al., 2011a). Trotz des hohen Methanpotenzials von Fetten erfolgt deren Abbau langsamer als der von Kohlenhydraten. Dies kann dazu führen, dass der Anteil des Abbauens an den

Gesamtausbeuten niedriger ist, was wiederum die Effizienz des Prozesses beeinflussen kann (ANGELIDAKI, et al., 1993).

Der Energiegehalt, insbesondere die Nettoenergie-Laktation (NEL), in den Substraten, die für die Biogasproduktion verwendet werden, kann einen erheblichen Einfluss auf die Effizienz und den Ertrag einer Biogasanlage haben. Substrate mit einem höheren NEL-Gehalt liefern mehr direkt verfügbare Energie für die Mikroorganismen, was zu einer höheren Biogasausbeute führen kann. Ein höherer NEL-Gehalt weist auf eine größere Konzentration an verdaulicher organischer Substanz hin, die in Methan umgewandelt werden kann (WEILAND, 2010).

Der Dietary Cation-Anion Balance (DCAB)-Wert, der das Gleichgewicht von positiv geladenen Kationen (wie Kalium und Natrium) und negativ geladenen Anionen (wie Chlorid und Schwefel) in einem Substrat misst, kann den Betrieb und die Effizienz einer Biogasanlage auf verschiedene Weisen beeinflussen. Der DCAB-Wert kann die mikrobielle Aktivität in anaeroben Fermentern beeinflussen. Ein ausgewogener DCAB-Wert ist wichtig, um optimale mikrobielle Umgebungen zu erhalten, die für den Verdauungsprozess und die Methanproduktion entscheidend sind. Ungleichgewichte im DCAB-Wert, insbesondere wenn diese zu hoch oder zu niedrig sind, können die mikrobielle Aktivität hemmen und dadurch die Biogasausbeute verringern (LETHOMÄKI, et al., 2008). Der DCAB-Wert beeinflusst den pH-Wert innerhalb des Fermenters. Ein geeigneter DCAB-Wert hilft dabei, einen stabilen pH-Wert aufrechtzuerhalten, der für eine effiziente anaerobe Vergärung unerlässlich ist. Extreme DCAB-Werte könnten zu erheblichen Veränderungen des pH-Wertes führen, was die methanogenen Bakterien hemmen und die Methanproduktion reduzieren könnte (WARD, et al., 2008). Das Gleichgewicht von Kationen und Anionen beeinflusst die Nährstoffverfügbarkeit und das Potenzial für Hemmungen im anaeroben Vergärungsprozess. Hohe Konzentrationen bestimmter Ionen, wie z.B. Kalium, können toxisch für Mikroorganismen sein, wenn sie nicht durch entsprechende Anionen ausgeglichen werden, was die Effizienz der Biogasproduktion beeinträchtigen kann (GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, et al., 2012).

Gärsäuren und der pH-Wert spielen eine entscheidende Rolle in der Funktion und Effizienz einer Biogasanlage. Gärsäuren wie Essigsäure, Propionsäure und Buttersäure entstehen während der anaeroben Zersetzung organischer Substrate. Ein Anstieg der Gärsäuren kann auf eine Störung im Prozess hindeuten, wie z.B. eine Überlastung der Anlage oder unzureichende Verweildauer des Substrats. Hohe Konzentrationen von Gärsäuren können die mikrobielle Gemeinschaft, die für die Methanproduktion verantwortlich ist, hemmen und somit die Biogasproduktion beeinträchtigen. Der pH-Wert beeinflusst die Aktivität der Mikroorganismen in der Biogasanlage. Ein optimaler pH-Wert für die Methanogenese liegt typischerweise zwischen 6,8 und 7,5. Werte unter 6,0 oder über 8,0 können die mikrobielle

Aktivität stören, was zu einer verminderten Biogasproduktion oder gar zum Stillstand des Prozesses führen kann. Zu niedrige pH-Werte können durch Ansammlung von Gärsäuren verursacht werden, während zu hohe pH-Werte oft durch Ammoniak entstehen (HUSSAIN, et al., 2021).

Zusammenfassend ist Mais aufgrund seines hohen Gehalts an leicht abbaubaren Kohlenhydraten vorteilhaft für die Biogasproduktion. Andere Inhaltsstoffe, insbesondere die schwer abbaubaren Faserstoffe, können jedoch die Effizienz des Prozesses beeinflussen, wenn sie nicht richtig gemanagt werden.

2.4 Versuchsergebnisse zum Mais-Gemengeanbau

Die Datengrundlage zu Mais-Gemenge-Versuchen zeigt sich sehr differenziert. So ist eine Vielzahl von Ergebnissen zum Mais-Stangenbohnen-Anbau zu finden, jedoch weniger zum Mais-Sonnenblumen-Anbau. Ergebnisse zum Mais-Sorghum-Gemenge liegen nur in begrenztem Umfang vor.

Nach SCHULZ (2022) können Gemengepartner im Maisanbau einen „bedeutenden Beitrag zur ökologischen Aufwertung von Maisflächen leisten.“ (SCHULZ, 2022). Sie bieten ein zusätzliches Blüh- und Nahrungsangebot für Insekten und können das Bodenleben fördern. Des Weiteren bieten sie die Möglichkeit des Erosionsschutzes und können der Nährstoffauswaschung entgegenwirken (SCHULZ, 2022). Als Herausforderung im Gemengeanbau beschreibt SCHULZ (2022) neben der Saattechnik und -stärke auch die Standortwahl, den Saatzeitpunkt sowie die Dünge- und Pflanzenschutzstrategie. In Feldversuchen wurden neben vielen anderen Gemengepartnern auch die Stangenbohne und Sonnenblume betrachtet. Beide sind nach SCHULZ (2022) geeignete Gemengepartner, „da sie gegenüber dem Mais kaum in Konkurrenz treten.“ (SCHULZ, 2022). Allerdings bedecken Stangenbohnen den Boden nur geringfügig. Weiterhin wird erwähnt, dass vor allem in der Jugendentwicklung die Konkurrenz um Wasser, Nährstoffe und Licht nicht hoch sein darf und dass Mais mit seinem hohen Wasserbedarf empfindlich auf eine Konkurrenz durch Gemengepartner reagiert. SCHULZ (2022) rät von einem Gemengeanbau in trockenen Regionen und hohem Beikrautpotenzial, aufgrund der begrenzt chemischen Herbizidmöglichkeiten, ab. Sind TKG und Kornform aufeinander abgestimmt, kann eine gemeinsame Einzelkornsaat erfolgen. Dies hat die Vorteile, dass nur eine Überfahrt notwendig ist und ein frühes Blühangebot bereitgestellt wird. Eine gemeinsame Aussaat bedingt allerdings die zufällige Verteilung der beiden Gemengepartner. Die Saatgutmischung des Mais-Stangenbohnen-Gemenges bestand aus einem Verhältnis von 1:0,5 und das Mais-Sonnenblumen-Gemenge aus 1:0,25. SCHULZ (2022) empfiehlt bei Mischungspartnern mit kleinem TKG, die nicht mit dem

Maissaatgut mischbar sind, eine „25-prozentige Saatstärke im Vergleich zu einem Reinbestand nicht zu überschreiten“ (SCHULZ, 2022). Die Düngung sollte an den Bedarf des Silomais angepasst werden. Empfohlen werden in dieser Studie 50-75 % des Stickstoffbedarfs laut DüV für Silomais zu düngen. Eine Stickstofffixierung durch Leguminosen als Gemengepartner ist nur in geringem Umfang zu erwarten bzw. zeigt sich dieser Vorteil erst in der Folgefrucht. Nach NIEHOFF (2021) nutzt die Stangenbohne ihre N-Fixierungsleistung nur, wenn sie in eine Stickstoff-Mangelsituation kommt. Geschieht dies nicht, lebt die Bohne vom Stickstoff, welcher im Boden zur Verfügung steht. Dies hat zur Folge, dass sich die N_{\min} -Werte zwischen Aussaat und Ernte nicht signifikant unterscheiden (NIEHOFF, 2021). In den Versuchen wurden ebenfalls die Herbizidmöglichkeiten aufgeführt, wobei erkennbar wurde, dass in Mais-Stangenbohnen und Mais-Sonnenblumen-Mischungen lediglich eine Kombination aus *Stomp* und *Spectrum* im Voraufbau möglich ist. Die Ergebnisse dieser Studie zeigten Durchschnittswerte von über 4 Jahren auf verschiedenen Standorten. Im Vergleich zur Kontrolle (Rein-Mais) wurden in den Gemengen Mais-Stangenbohne und Mais-Sonnenblume geringere Trockenmassegehalte erreicht. Der solo angebaute Mais erzielte bei ungefähr 32 % TS circa 145 dt TM/ha, daneben erreichte das Mais-Stangenbohnen-Gemenge mit circa 30 % TS einen Trockenmasseertrag von rund 150 dt/ha und das Mais-Sonnenblumen-Gemenge mit circa 28 % TS rund 140 dt TM/ha (SCHULZ, 2022). Bei Betrachtung der Energieerträge auf Basis der Netto-Energie-Laktation erreichte das Mais-Sonnenblumen-Gemenge tendenziell geringere Ergebnisse, als die Kontrolle mit dem solo angebauten Mais und dem Mais-Stangenbohnen-Gemenge, welche ähnliche Werte zeigten. In Hinblick auf den Rohproteingehalt wies das Mais-Sonnenblumen-Gemenge höhere Werte mit circa 7 % auf, als die Kontrolle mit unter 6 % und das Mais-Stangenbohnen-Gemenge mit rund 6 % (SCHULZ, 2022). Ebenfalls ausgewertet wurde der Biogas- und Methanertrag. Dabei zeigte sich zwischen den Varianten beim Biogasertrag kein Unterschied. Beim Mais-Sonnenblumen-Gemenge konnte eine niedrigere Tendenz beim Methanertrag erfasst werden (SCHULZ, 2022). Im Jahr 2019 konnte in Tachenhausen ein Biogasertrag im reinen Mais von 562 l/kg oTM und im Mais-Stangenbohnen-Gemenge von 555 l/kg oTM ermittelt werden. Bezugnehmend auf die Auswirkungen des Gemengeanbaus auf den Nitratgehalt im Boden stellt SCHULZ (2022) die Vermutung auf, dass dieser nach der Ernte geringer sein sollte, als beim reinen Maisanbau, da die Gemengepartner zusätzliches Nitrat aus dem Boden aufnehmen. Diese Vermutung konnte in den Versuchen jedoch nicht nachgewiesen werden. Silierversuche mit der Mais-Stangenbohne-Silage zeigten, dass dieses eine vergleichbare Siliereignung aufweist wie Silomais. Benannt wird ebenfalls eine geringe Steigerung des Rohproteingehaltes zwischen 3 g/kg TM und 9 g/kg TM. Ein Einfluss dieser Gemengesilage auf die Milchmenge und Milchhaltsstoffe wie Milchfett und Milcheiweiß konnte nicht nachgewiesen werden. Mais-Bohnen-Silagen mit phasinarmen

Sorten wie z.B. der WAV 612 werden empfohlen. Aus ökologischer Sicht konnten in Untersuchungen zum Mais-Stangenbohnen-Gemenge „signifikant erhöhte Hummelaktivitäten“ (SCHULZ, 2022) in den Beständen nachgewiesen werden (SCHULZ, 2022).

Untersuchungen von LEISER (2021) aus dem Jahr 2019 zeigten, dass Mais-Stangenbohnen-Gemenge (Mischungsverhältnis 1:0,5) relative Trockenmasseerträge von 89 bis 96 % zum solo angebauten Mais (22 t TM/ha) erreichen können. „Die FM-Erträge der Mischungen lagen bei einzelnen Prüfgliedern bis zu 10 % über dem entsprechenden Maisreinertrag“ (LEISER, 2021). Bei Betrachtung des relativen Rohproteinetrags war eine Überlegenheit mit 102 % bis 112 % zum reinen Mais erkennbar, was einem Rohproteinetrags von 15,4 dt/ha bis 16,1 dt/ha entsprach (LEISER, 2021). Zusätzliche Düngeversuche zeigten, dass das Mais-Stangenbohnen-Gemenge unter stark reduzierter Stickstoffdüngung dem reinen Maisanbau deutlich überlegen war (LEISER, 2021).

Versuche der Landwirtschaftskammer Niedersachsen zeigten, dass durch die begrenzten Möglichkeiten im chemischen Pflanzenschutz Standorte mit starken Verunkrautungen vermieden werden sollten (ROMUNDT, 2021). Empfohlen wird eine zusätzliche mechanische Unkrautregulierung mittels einer Hacke. Bedacht werden kann auch der Anbau von Mais-Duo-Sorten, die eine Cycloxydim-Resistenz aufweisen. ROMUNDT (2021) betont auch die Wichtigkeit des Zusammenspiels aus Korngröße und TKG zur gemeinsamen Aussaat. In den Versuchen wurden die Gemengepartner händisch nach der Maisaussaat mit einer kulturspezifischen Saatstärke ausgebracht. Der Maissorte Geox Duo (7 Pflanzen/m²) wurden unter anderem Stangenbohnen (4 Pflanzen/m²) oder Sonnenblumen (3 Pflanzen/m²) zugemischt. Im Jahr 2020 konnten im Mais-Stangenbohnen-Gemenge mit der Bohnensorte WAV 612 nach ROMUNDT (2021) relative Trockenmasseerträge zum reinen Mais in Höhe von 99 % erzielt werden, im Mais-Sonnenblumen-Gemenge nur 81 %. Die relativen Rohproteingehalte der Gemenge lagen im Vergleich zum solo angebauten Mais (7,9 %) tendenziell höher, so erreichte das Mais-Stangenbohnen-Gemenge 8,3 % und das Mais-Sonnenblumen-Gemenge 8,8 % (ROMUNDT, 2021). Im Mais-Sonnenblumen-Gemenge wurden Vogelschäden in den Blütenkörben der Sonnenblume beobachtet (ROMUNDT, 2021).

Die Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein führte im Jahr 2023 Silomaisversuche durch bei denen neben dem solo angebauten Mais auch die Gemenge von Mais mit Sonnenblume, Stangenbohne und Sorghum hinsichtlich Trockensubstanzgehalt und Gesamttrockenmasseertrag ausgewertet wurden. Anzumerken ist hierbei, dass in den Gemengen eine Saatstärke von 11 Pflanzen/m² mit einem Mischungsverhältnis von 70 % Mais und 30 % Gemengepartner gewählt wurde. Die reine Maisvariante wurde mit 9 und 11 Pflanzen/m² untersucht. Auch wenn die Saatstärke nicht mit der im Feldversuch dieser Arbeit

übereinstimmt, so ähnelt sich das Mischungsverhältnis in den Gemengen (GRIMME, 2024). Tabelle 14 zeigt die Ergebnisse der Studie.

Tabelle 14: TS-Gehalte und Gesamttrockenmasseerträge von Mais und den Gemengen Mais-Stangenbohne, Mais-Sonnenblume und Mais-Sorghum (verändert nach GRIMME (2024))

| Parameter | Einheit | Mais-solo | Mais-Stangenbohne | Mais-Sonnenblume | Mais-Sorghum |
|------------|---------|-----------|-------------------|------------------|--------------|
| TS-Gehalt | % | 38,4 | 36,1 | 35,3 | 36,9 |
| GTM-Ertrag | dt/ha | 187,8 | 172,8 | 169,0 | 172,8 |

Das Gemenge mit Sonnenblumen erreichte nach GRIMME (2024) mit 35,3 % den geringsten TS-Gehalt und der reine Mais mit 38,4 % den höchsten. Die Gemenge mit Stangenbohne und Sorghum ähnelten sich in ihren Ergebnissen. Die gleiche Tendenz zeigte sich im Gesamttrockenmasseertrag. Auch hier erzielte die reine Mais-Variante mit 187,8 dt/ha den höchsten Wert und das Mais-Sonnenblumen-Gemenge mit 169,0 dt/ha den niedrigsten. Mais-Stangenbohne und Mais-Sorghum erreichten nach GRIMME (2024) die gleichen Ergebnisse hinsichtlich des Gesamttrockenmasseertrages.

Untersuchungen von JILG, et al. (2021) präsentierten die Nährstoffgehalte von Maissilagen und Mais-Bohnen-Silagen (Mischungsverhältnis 1:0,5), welche in Tabelle 15 einzusehen sind. Dabei zeigte sich eine niedrigere Tendenz des Trockensubstanzgehaltes und der NEL im Mais-Bohnen-Gemenge. Höhere Werte erreichte das Gemenge bei den Parametern Rohprotein und Rohasche.

Tabelle 15: Nährstoffgehalte in Mais- und Mais-Bohnen-Silagen (verändert nach JILG, et al. (2021))

| Parameter | Einheit | Maissilage | Mais-Bohnen-Silage |
|--------------|----------|------------|--------------------|
| Trockenmasse | % | 35,0 | 34,1 |
| Rohprotein | g/kg TM | 72 | 81 |
| Rohasche | g/kg TM | 33 | 40 |
| NEL | MJ/kg TM | 7,2 | 7,0 |

JILG, et al. (2021) betrachtete die Auswirkung der Mais- und Mais-Bohnen-Silagen auf die Milchleistung. Dabei wurde festgestellt, dass mit der Verfütterung des Mais-Bohnen-

Gemenges eine signifikant niedrigere Futteraufnahme und eine mit 0,3 kg/Kuh/Tag signifikant niedrigere Milchmenge verursachte wurde. Innerhalb der Milchinhaltsstoffe Fett und Eiweiß konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. In Hinblick auf die Vergärbarkeit konnte zwischen den beiden Silagen in Tabelle 15 kein Unterschied festgestellt werden. Nach JILG, et al. (2021) können mit der „Verfütterung von 8 kg TM/Kuh und Tag Mais-Bohnensilage alternativ zu Maisilage ca. 72 g Rohprotein pro Kuh/Tag (=ca. 0,2 kg Rapsschrot) für die Eiweißergänzung eingespart werden.“ (JILG, et al., 2021).

Die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft untersuchte in den Jahren 2016, 2017 und 2018 verschiedene Mais-Gemenge, unter anderem auch mit den Gemengepartnern Sonnenblume und Stangenbohne (EDER, 2020). Hierbei wurde mit den folgenden Mischungsverhältnissen gearbeitet: Mais-Sonnenblume (9:1 oder 8:1) und Mais-Stangenbohne (1:1). Da diese nicht mit den Verhältnissen des Feldversuches dieser Arbeit übereinstimmen, können die Ergebnisse nicht als Vergleichsgrundlage dienen.

Die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft veröffentlichte Versuchsergebnisse aus dem Jahr 2021 bei denen der Ertrag der Sorte *Agro Milas* und des Stangenbohnen-Gemenges *Agro Milas + WAV 612* ermittelt wurden. Hierbei wurde ein Mischungsverhältnis von 8 Pflanzen Mais und 4 Pflanzen Stangenbohne pro Quadratmeter gewählt. Tabelle 16 zeigt die Ertrags- und NIRS-Ergebnisse der beiden Varianten.

Tabelle 16: Ertrags- und NIRS-Ergebnisse vom Anbauversuch zu Mais und Mais-Stangenbohne im Jahr 2021 (verändert nach LFL (2021))

| Parameter | Einheit | <i>Agro Milas</i> | <i>Agro Milas + WAV 612</i> |
|-----------------------|--------------------|-------------------|-----------------------------|
| Frischmasseertrag | dt/ha | 627 | 499 |
| Trockensubstanzgehalt | % | 41,0 | 40,7 |
| Trockenmasseertrag | dt/ha | 257 | 204 |
| Rohproteingehalt | % | 6,3 | 7,8 |
| Rohproteinertrag | dt/ha | 16,2 | 15,9 |
| Stärkegehalt | % | 38,6 | 33,8 |
| Stärkeertrag | dt/ha | 99,1 | 70,8 |
| Energiegehalt | MJ NEL/kg TM | 6,89 | 6,76 |
| Energieertrag | dt/ha | 177 | 138 |
| Rohfasergehalt | % | 16,2 | 18,0 |
| Biogasausbeute | l/kg TM | 720 | 708 |
| Biogasertrag | m ³ /ha | 17.536 | 13.796 |

Die Ergebnisse zeigen, dass das Mais-Stangenbohnen-Gemenge mit den Sorten *Agro Milas* und *WAV 612* im Rohprotein- und Rohfasergehalt der reinen Maisvariante überlegen war. In allen anderen geprüften Parametern zeigte der solo angebaute Mais höhere Werte. Große Differenzen zeigten sich im Rohprotein-, Stärke- und Energieerträgen, da diese sich auf die Erträge stützten und diese beim solo angebauten Mais höher waren, als im Gemenge mit der Stangenbohne.

Nach MEYER (2024) scheint eine Silierung von Mais-Stangenbohnen-Silagen unproblematisch. In Tabelle 17 werden die Silierparameter pH-Wert, Milchsäure und Essigsäure aus Silierversuchen in Baden-Württemberg dargestellt. Hinsichtlich des pH-Wertes konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. In beiden Silagen sank der pH-Wert schon nach wenigen Tagen. Der Anteil an Milch- und Essigsäure war im Mais-Bohnen-Gemenge höher, als in der reinen Maissilage, wobei die Differenz der Milchsäureanteile größer war, als die der Essigsäure.

Tabelle 17: Gärparameter von Mais- und Mais-Bohnen-Silage nach 90 Tagen Lagerdauer (verändert nach MEYER (2024))

| Parameter | Einheit | Maissilage | Mais-Bohnen-Silage |
|------------|---------|------------|--------------------|
| pH-Wert | | 3,6 | 3,7 |
| Milchsäure | g/kg TM | 76,2 | 62,7 |
| Essigsäure | g/kg TM | 14,8 | 13,2 |

Versuchsergebnisse zum Mais-Sorghum-Mischanbau liefert das Technologie- und Förderzentrum (TFZ) in Straubing aus dem Jahr 2010 (TFZ, 2011). Ziel war es dabei mit dem Mischanbau die Ressourcen wie Licht, Wasser und Nährstoffe effizienter zu nutzen und eine höhere Ertragssicherheit zu gewährleisten. „Beim Mischanbau Mais-Sorghum garantiert der Mischungspartner Mais hohe Biomasse-Erträge bei guten Wachstumsbedingungen, während das trockenolerante Sorghum Ertragsausfälle bei Sommerdürren kompensieren kann.“ (TFZ, 2011). In diesen Versuchen erfolgte der Mischanbau in alternierenden Reihen mit einem Reihenabstand von 37,5 cm. Im Mais-Sorghum-Gemenge konnten Trockenmasseerträge von circa 115 dt/ha bis 140 dt/ha erreicht werden (TFZ, 2011).

In Studien von D. M. NASSAB et al. (2011) aus dem Iran wurden Gemenge mit Mais-Sonnenblumen-Mischungsverhältnissen von 33:67, 67:33 und 50:50 untersucht. Diese zeigten, dass Mais und Sonnenblumen im Soloanbau höhere Erträge bringen, als im Gemenge, was mit den interspezifischen Konkurrenzen um Licht und Bodenressourcen

begründet wird. Die Ergebnisse dieser Studie zeigten, dass die Sonnenblume konkurrenzfähiger sein kann, als der Mais. Begründet wurde dies durch die Tatsache, dass die Sonnenblume mit den großen horizontal gerichteten Blättern Licht besser einfangen kann, als Mais mit den schmalen aufrecht gestellten Blättern (D. M. NASSAB et al., 2011). Im Gemengeanbau mit 67 % Maisanteil kommt es zu einer hohen Ertragsstabilität und höheren Methanerträgen. Nach D. M. NASSAB et al. (2011) sollte der Anteil an Mais bei über 50 % liegen und damit im Gemenge dominieren (D. M. NASSAB et al., 2011).

Eine weitere Studie aus den USA verglich die Biogaserträge zwischen den soloangebauten Kulturen Silomais und Futterhirse und zwei Gemengevarianten mit diesen Kulturen. In einer Gemengevariante stand die Futterhirse zwischen den Maisreihen, in einer zweiten Variante in der Maisreihe (SAMARAPPULI, et al., 2018). Dabei wurden die folgenden Biogaserträge erzielt:

- Mais solo: 1042,2 l/kg FM
- Sorghum zwischen der Maisreihe: 982,1 l/kg FM
- Sorghum in der Maisreihe: 986,4 l/kg FM

Der Gemengeanbau von Mais und Sorghum erzielte eine erhöhte Ertragsstabilität, da Sorghum auf weniger fruchtbaren Standorten und mit weniger Wasser produktiver ist, als Mais. (SAMARAPPULI, et al., 2018)

Untersuchungen aus der Türkei zeigten Ergebnisse des Mais-Sonnenblumen-Gemenges mit verschiedenen Mischungsverhältnissen. Im Gemenge mit 75 % Mais und 25 % Sonnenblume konnten 50,91 % NDF, 29,21 % ADF und 3,61 % ADL analysiert werden. Für den Vergleich wurde auch solo angebaute Mais untersucht: 55,79 % NDF, 30,26 % ADF und 3,31 % ADL. Das Mais-Sonnenblumen-Gemenge zeigte damit im Vergleich zum solo-Mais signifikant höhere NDF-Werte. Innerhalb der ADF- und ADL-Werte gab es keine signifikanten Unterschiede. Allerdings zeigte das Gemenge tendenziell höhere ADL-Werte (ERTEKIN, 2023).

3 Zielstellung

Das Ziel dieser Arbeit ist es mit Hilfe eines Feldversuches verschiedene Mais-Gemenge-Varianten im Vergleich zum solo angebauten Mais zu bewerten. Dabei sollen die Auswirkungen des Mais-Gemengeanbaus auf den Ertrag, ausgewählte Bodenparameter und Inhaltsstoffe untersucht werden. Darüber hinaus wurden Daten zum Vegetationsverlauf erfasst, um Wechselwirkungen zwischen den Gemeengepartnern zu analysieren. Als Gemeengepartner für Mais wurden Stangenbohne, Sonnenblume und Sorghum ausgewählt.

Die systematische Erfassung und Auswertung der Messgrößen soll ein umfassendes Verständnis für die ökologischen und agronomischen Aspekte dieser Anbaukombinationen ermöglichen. Besonderes Augenmerk wird dabei auf den Vergleich der Versuchsvarianten gelegt.

Die konkreten Forschungsfragen sind:

1. Welche bodenanalytischen Unterschiede bringt der Mais-Gemengeanbau und wie sind diese zu bewerten?
2. Welche ertraglichen Unterschiede bringt der Mais-Gemengeanbau und wie sind diese zu bewerten?
3. Welche futterqualitativen Unterschiede bringt der Mais-Gemengeanbau und wie sind diese zu bewerten?
4. Wie lassen sich Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Pflanzenarten im Gemenge bewerten, um synergetische Effekte oder potentielle Konkurrenzmechanismen zu identifizieren?
5. Welche Anbau- und Nutzungsempfehlungen ergeben sich aus den Erkenntnissen des Feldversuches?

4 Material und Methoden

Das vorliegende Kapitel 4 bietet eine detaillierte Darstellung der angewandten Methodik sowie des verwendeten Materials, welche für die Anlage des Feldversuches und dessen Datenerfassung genutzt wurden. Ein präzises Verständnis dieser Aspekte ist von grundlegender Bedeutung, um die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten und eine kritische Bewertung des durchgeführten Versuchs zu ermöglichen. Die angewandten Methoden wurden sorgfältig ausgewählt, um den Forschungsfragen gerecht zu werden und präzise Ergebnisse zu liefern. Die Gliederung dieses Abschnitts erfolgt chronologisch, beginnend mit der Standortbeschreibung und dem Aufbau des Feldversuches.

Es ist wichtig zu betonen, dass die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Ergebnisse im direkten Zusammenhang mit der korrekten Anwendung der Methoden und der Auswahl des Materials stehen.

4.1 Standortbeschreibung und Aufbau des Versuches

Die Grundlage der vorliegenden Arbeit bildet ein Feldversuch im Jahr 2023 in Kleisthöhe, einem Ort im Landkreis Uckermark, im Norden des Landes Brandenburg. Die standortspezifischen Gegebenheiten charakterisieren sich durch eine Ackerzahl von 46 und schwach lehmigen Sand als Bodenart. Die Vorfrucht im Jahr 2022 war die Zuckerrübe. Nach der Vorfrucht wurde im Herbst 2022 tief gegrubbert, im Februar 2023 erfolgte das Aufreißen der Zuckerrüben-Mietenplätze mit einem Meißel. Am 04. April 2023 wurde Harnstoff in Höhe von 1 dt/ha ausgebracht, gefolgt von der Ausbringung von 20 t/ha Mist am 08. April 2023, die mit einem Grubber flach eingearbeitet wurden. Diese Bodenbearbeitungs- und Düngemaßnahmen wurden auf dem gesamten Schlag, einschließlich des Versuchsfeldes, durchgeführt. Am 03. Mai 2023 wurde um das Versuchsfeld Mais mit einer Saatstärke von 85.000 Körner/ha und 0,6 dt/ha DAP als Unterfußdüngung gelegt. Auf der Fläche um das Versuchsfeld wurde am 27. Juni 2023 eine Herbizidmaßnahme mit 0,4 l/ha *Diniro*, 1,2 l/ha *Adigor*, und 2,5 l/ha *Successor T* durchgeführt.

Der Versuch besteht aus 12 Parzellen, die jeweils aus 4 Reihen bestehen und 5 m lang sind. Jede Variante wurde in 3 Wiederholungen angelegt. Um Bodenunterschiede oder andere ähnliche Störfaktoren zu verhindern, die die Wiederholungspartellen und Varianten beeinflussen könnten, wurde eine zufällige Anordnung der Parzellen gewählt (WILBOIS, et al., 2004). Das bedeutet, dass gleiche Varianten nie nebeneinanderstanden.

Abbildung 4 zeigt den Versuchsaufbau des Feldversuches. Um den Versuch wurde ein zusätzliches Vorgewende gelegt, um Randeffekte auszuschließen. Insgesamt umfasst der Versuch eine Größe von ca. 500 m².



Abbildung 4: Versuchsaufbau des Feldversuches (eigene Darstellung)

In Abbildung 4 ist zu erkennen, dass den vier Varianten Farben und Abkürzungen zugeordnet wurden, die sich im Verlauf der Arbeit fortsetzen. Der solo angebaute Mais (M-solo) wurde grün hinterlegt. Das Mais-Stangenbohnen-Gemenge (M-Stabo) erhielt die Farbe Blau, das Mais-Sonnenblume-Gemenge (M-Soblu) die Farbe Gelb, und für das Mais-Sorghum-Gemenge (M-Sorg) wurde die Farbe Grau gewählt.

Der Versuch wurde am 09. Mai 2023, bei einer Bodentemperatur von 11,1 °C. mit einem Reihenabstand von 75 cm gelegt. Er wurde zwischen zwei Fahrspuren angelegt, um Einflüsse von Verdichtungen durch Überfahrten zu vermeiden. Die Aussaat übernahm die Firma *BioChem agrar GmbH* mithilfe einer speziellen Einzelkornsähmaschine für Versuchswesen. Die angestrebten Bestandesdichten und Saatstärken wurden, wie in Tabelle 18 einzusehen,

an die Varianten angepasst. Um die angestrebten Bestandesdichten zu erreichen, wurde die Saatstärke um 5 % erhöht, unter der Annahme eines 95 %igen Feldaufgangs.

Das Saatgut der Mischvarianten M-Stabo und M-Soblu war bereits vorgemischt. Das Sorghumsaatgut wurde am gleichen Tag noch manuell in den Boden eingebracht, da die unterschiedlichen Korngrößen eine gleichzeitige Aussaat mit der Maschine nicht ermöglichten.

Tabelle 18: Bestandesdichten und Saatstärken der Varianten im Feldversuch (eigene Darstellung)

| Abkürzung | Variante | Bestandesdichte (Pflanzen/m ²) | Saatstärke (Körner/ha bei 95 % Feldaufgang) |
|-----------|-------------------|---|---|
| M-solo | Mais | 80.000 | 84.000 |
| M-Stabo | Mais-Stangenbohne | 120.000 | 126.000 |
| M-Soblu | Mais-Sonnenblume | 120.000 | 126.000 |
| M-Sorg | Mais-Sorghum | 120.000 | 126.000 |

Das Mischungsverhältnis in den Gemenge-Varianten besteht aus zwei Dritteln Mais und einem Drittel Gemengepartner. Die Saatstärke wurde so gewählt, dass in jeder der vier Varianten 80.000 Körner/ha Mais stehen und in den Gemengen zusätzlich 40.000 Körner/ha des Gemengepartners. Die Gesamtanzahl von 120.000 Körnern/ha entspricht den Empfehlungen der Züchter *KWS* (Kws, 2023) und *DSV* (Dsv, 2023).

In allen vier Varianten wurde die Maissorte *Agro Milas* der Firma *Agromais GmbH* verwendet, um Sortenunterschiede auszuschließen. Bei der Stangenbohne handelt es sich um die Sorte *WAV 612*. Die Sonnenblume wurde durch die Sorte *Acteon* vertreten, und in Variante M-Sorg wurde die Sorghumsorte *KWS Sammos* (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*) verwendet.

Zur Aussaat wurde auf Unterfußdünger verzichtet, um dadurch entstehende Düngeeffekte zu vermeiden. Nach dem Auflaufen wurde eine Vereinzelnung durchgeführt, um sicherzustellen, dass die Ziel-Bestandesdichte erreicht wurde und das Mischungsverhältnis in den Varianten stimmt.

Am 10. Mai 2023 wurde eine chemische Unkrautbekämpfung im Voraufbau auf dem Versuchsfeld über alle Parzellen durchgeführt. Dazu wurden die Mittel *Spectrum* mit 1,0 l/ha und *Stomp Aqua* mit 2,5 l/ha genutzt. Die ausgewählten Pflanzenschutzmittel waren zu diesem Zeitpunkt in allen vier Kulturarten zugelassen. Die Aufwandmenge wurde so angepasst, dass sie den vorgegebenen Mengen des Pflanzenschutzdienstes entspricht

(ANDREAS, et al., 2023). Für eine Behandlung im Nachauflauf sind im Gemenge keine Mittel zugelassen, weshalb im gesamten Versuch auf eine Nachauflaufbehandlung verzichtet wurde. Am 30. Mai 2023 wurden per Hand Beikräuter entfernt. Diese Maßnahme wurde zum 19. Juni 2023 wiederholt, um mögliche Einflüsse durch eine Konkurrenz zu minimieren.

Die Ernte erfolgte am 17. September 2023 von Hand, um die Gemengepartner und den Mais einzeln wiegen zu können. Dadurch kann der Einfluss des Gemengepartners auf den Mais weiterführend diskutiert werden. Neben dem Wiegen der Gesamtpflanzen wurden auch die Pflanzenlängen und die Kolbengewichte der Maispflanzen erfasst. Anschließend wurden Proben ins Labor gebracht und gleichzeitig einsiliert.

4.2 Datenerfassung

Die Datenerfassung bildet das Fundament jeder wissenschaftlichen Untersuchung und spielt eine zentrale Rolle bei der Generierung von aussagekräftigen Ergebnissen. In diesem Kapitel 4.2 werden die Verfahren und Techniken erläutert, die zur Beschaffung der Rohdaten dieser Studie angewandt wurden. Die sorgfältige Planung und Durchführung der Datenerfassung sind entscheidend für die Gültigkeit und Zuverlässigkeit der späteren Diskussion und Schlussfolgerungen.

Aus dem Feldversuch wurden verschiedene Daten zur späteren Vergleichbarkeit gezogen. Neben Bodenuntersuchungen wurden Wetter- und Erntedaten sowie Analysen zur qualitativen Beurteilung erfasst. Die Analyse von Boden- und Pflanzenproben erfolgte durch den Landeskontrollverband Berlin-Brandenburg in Waldsiedersdorf (LKV), um eine durchgängige Genauigkeit der Daten zu gewährleisten.

4.2.1 Wetterdaten

Um eine detaillierte Einschätzung über den Vegetationsverlauf des Versuches zu geben, wurden die Wetterdaten erfasst. Die Daten wurden der Internetseite *WetterKontor* entnommen. Da am Standort Kleisthöhe keine Wetterstation existiert, wurde der nächstgelegene Ort gewählt, der in diesem Fall Grünow bei Prenzlau ist. Die beiden Orte sind etwa 28 km voneinander entfernt.

Erfasst wurden die monatlichen Temperaturmittelwerte zwischen 2012 und 2023. Zusätzlich wurden die Jahresniederschläge sowie die monatlichen Niederschlagsmittelwerte zwischen 2012 und 2023 aufgezeichnet. Die Durchschnittstemperaturen und Niederschlagsmengen im Jahr 2023 des Feldversuches wurden monatlich und vom Aussaatag bis zum Erntetag erfasst. Zur besseren Darstellung der Ausgangssituation für den Feldversuch wurden

Bodenfeuchteprofile und damit verbundene nutzbare Feldkapazitäten des *Deutschen Wetterdienstes* verwendet.

Die Berechnung der Temperatursumme erfolgte gemäß einem Modell des *Deutschen Wetterdienstes* aus dem Jahre 2014 (DWD, 2014). Dabei wurde von den Werten der Tagesmitteltemperaturen ein Grenzwert von 8 °C abgezogen und anschließend über die Anzahl der Vegetationstage aufsummiert. Der Tagesgrenzwert kann gemäß DWD (2014) bei 6 °C oder 8 °C liegen (DWD, 2014). Die Wahl fiel auf 8 °C, da dies auch das Minimum der Bodentemperatur ist, welches der Mais für die Keimung benötigt.

Die erfassten Wetterdaten wurden mithilfe von Excel aufbereitet und in den Ergebnissen dargestellt. Die Werte der Bodenfeuchte und der nutzbaren Feldkapazität wurden den Daten des *Deutschen Wetterdienst* entnommen und verarbeitet. Dabei wurde als Standort die Gemeinde Uckerland gewählt, in welcher der Ort Kleisthöhe und damit der Feldversuch angelegt wurden.

4.2.2 Bonitur

Im circa 14-tägigen Rhythmus wurden Bonituren am Versuch durchgeführt, um die Entwicklung der Hauptkulturen zu dokumentieren. Jede Parzelle und jede Reihe wurden einzeln bewertet. Auffälligkeiten im Vegetationsverlauf sowie Pflanzenschäden wurden fotografisch festgehalten und der Unkrautdruck mit den entsprechenden Arten wurde ausgezählt. Die Unkrautbonituren und händische Unkrautbekämpfung fanden am 30. Mai 2023 und am 19. Juni 2023 statt. Am 30. Mai 2023 wurden zudem die Bestandesdichten ausgezählt sowie Vereinzlungen bzw. Nachsaaten vorgenommen. Die Anzahl der Unkräuter wurde pro Parzelle gezählt und anschließend auf die Anzahl pro Quadratmeter umgerechnet.

4.2.3 Bodenuntersuchungen

Um die ackerbaulichen Einflüsse der Varianten auf den Boden darstellen zu können, wurden am 09. Mai 2023 zur Aussaat und am 17. September 2023 zur Ernte Bodenproben aus den Tiefen 0 cm bis 30 cm und 60 cm bis 90 cm entnommen. Hierfür wurde ein beinbetriebener Bodenbohrer mit einem Bohrlochdurchmesser von 10 cm und einer maximalen Bohrtiefe von 1 m verwendet. Zur Sicherstellung möglichst genauer Werte wurden pro Parzelle sieben Löcher gebohrt und insgesamt etwa 500 g Boden pro Parzelle entnommen. Ein Schema des Bohrplans ist in Abbildung 5 dargestellt. Laut SCHUBERT (2011) sollten mindestens 20 Einstiche pro Hektar vorgenommen werden, um eine repräsentative Beprobung zu

gewährleisten (SCHUBERT, 2011). Die farblich markierten Punkte in der Farbe Orange im Schema zeigen die Probenahmestellen, während die senkrechten Linien die Saatzeilen darstellen.

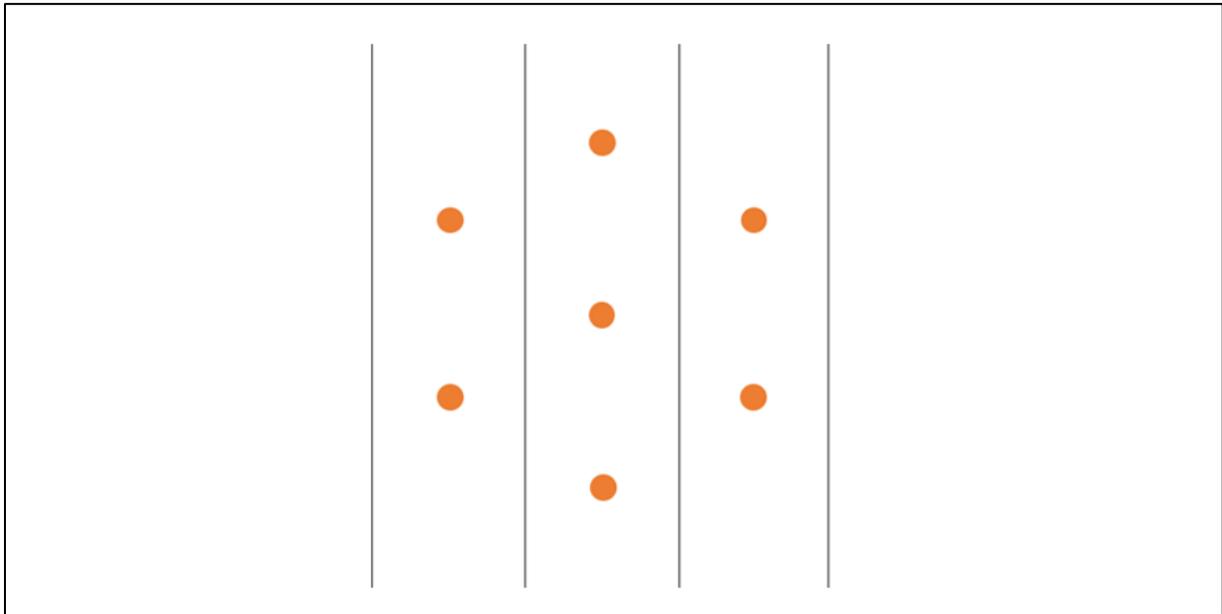


Abbildung 5: Punkte der Probenahme für die Bodenanalyse in den Versuchspartzen (eigene Darstellung)

Die Bodenproben wurden am Tag der Entnahme gekühlt ins Labor transportiert. Folgende Parameter wurden vom Landeskontrollverband Berlin-Brandenburg in Waldsiefersdorf bei der Bodenuntersuchung analysiert:

- N_{\min} -Gehalt 0-30 cm (kg/ha)
- N_{\min} -Gehalt 60-90 cm (kg/ha)
- pH-Wert
- P (mg/100 g Boden, pflanzenverfügbar)
- K (mg/100 g Boden, pflanzenverfügbar)
- Mg (mg/100 g Boden, pflanzenverfügbar)
- Humus (%)

Die Auswahl der analysierten Parameter basiert sowohl auf gesetzlichen Vorgaben, als auch auf den Empfehlungen des Labors. Der pH-Wert wurde analysiert, da er einen wesentlichen Einfluss auf die Nährstoffverfügbarkeit hat (vgl. Kapitel 2.3). Durch die Untersuchung der Proben zur Aussaat und zur Ernte kann ein direkter Vergleich der ackerbaulichen Einflüsse auf den Boden zwischen den Versuchsvarianten vorgenommen werden.

4.2.4 Erntedaten

Zur Ernte am 17. September 2023 wurden je Parzelle aus den 2 Mittelreihen viermal acht Maispflanzen und vier Gemengepflanzen (möglichst aufeinanderfolgend) entnommen, um Randeffekte auszuschließen und das Mischungsverhältnis einzuhalten. Alle Pflanzen wurden in einer Höhe von 30 cm abgeschnitten und jeweils getrennt voneinander ausgewogen. Eine Kiste mit den Maßen 600 x 400 x 320 mm wurde an einer Zugwaage befestigt, wobei das Gewicht der Kiste bei der Datenauswertung vom Gesamtgewicht abgezogen wurde. Vorher wurden die geernteten Maispflanzen in ihrer Länge mit einem Zollstock vermessen. Die Kolbengewichte der Maispflanzen wurden mit einer Küchenwaage und Waagschale einzeln erfasst.

Im nächsten Schritt wurden die Erntegutproben der Parzellen zum Landeskontrollverband (LKV) gebracht, wo eine Vollanalyse des frischen Ernteguts durchgeführt wurde. Der LKV übernahm auch das Häckseln der Proben. In der Vollanalyse wurden folgende Parameter untersucht:

- NIRS der Variante M-solo (Trockensubstanz, Rohasche, Rohprotein, Rohfaser, Stärke, Rohfett, ELOS, NEL)
- nass-chemische Analyse der Gemenge-Varianten (Trockensubstanz, Rohasche, Rohprotein, Rohfaser, Stärke, Rohfett, ELOS, NEL)
- Faserfraktionen (NDF, ADF, ADL)
- DCAB (Natrium, Kalium, Chlorid, Schwefel, DCAB)

Die Unterschiede in den Analyseverfahren resultieren aus der fehlenden Vergleichsdatenbasis für Gemenge, die für die NIRS benötigt wird. Daher musste bei den Gemengevarianten eine nass-chemische Analyse durchgeführt werden. Um Kenntnisse über die Entstehung möglicher Wertabweichungen zu erhalten, wurden innerhalb der Varianten einmalig der Mais ohne Gemengepartner zur Analyse ins Labor gegeben und analysiert. Die Ergebnisse dazu sind in Kapitel 5.6 einsehbar.

4.2.5 Silierung des Ernteguts

Von den gehäckselten Proben des LKV wurde von jeder Variante ein Teil einsiliert. Bilder des Häckselguts sind in Anhang 22 einsehbar. Zum Silieren wurden Einweckgläser mit einem Fassungsvermögen von etwa 1 Liter verwendet. Das frische Erntematerial wurde mithilfe einer Presse in die Gläser eingepresst, um möglichst wenig Restsauerstoff im Glas zu belassen und so die Gefahr einer Fehlgärung zu minimieren. Die Glasränder wurden mit Spiritus desinfiziert und anschließend mit einem Dichtring und dem Glasdeckel luftdicht verschlossen. Der Deckel

wurde mit Metallspangen befestigt. Bilder der gefüllten Gläser sind im Anhang 23 einzusehen. Die gefüllten Gläser wurden dann für 106 Tage in einem verschlossenen Karton bei einer konstanten Temperatur von etwa 18 °C bis 20 °C aufbewahrt. Nach dieser Zeit wurden sie am 2. Januar 2024 geöffnet und erneut zur Vollanalyse zum LKV gebracht. Hierbei wurden dieselben Parameter wie zuvor bei der frischen Probe analysiert, zusätzlich jedoch auch die Biogasausbeuten und Gärsäuren.

4.3 Datenauswertung

Die Datenauswertung wurde mithilfe der Microsoft-Anwendung Excel und der statistischen Software SPSS durchgeführt. Für jede Variante wurden aus den drei Wiederholungen der Mittelwert (\bar{x}) und die Standardabweichung (s) berechnet, sodass für die Diskussion pro Variante und Parameter ein Wert vorliegt. Die Formeln für die Berechnung des Mittelwertes und der Standardabweichung sind wie folgt:

$$\bar{x} = \frac{\text{Summe der Messwerte}}{\text{Anzahl der Messwerte}}$$

$$s = \sqrt{\frac{s^2}{n - 1}}$$

Die Standardabweichung „stellt die durchschnittliche Abweichung der Messwerte vom Mittelwert dar. Je größer die Standardabweichung ist, umso stärker streuen die Messwerte um den Mittelwert.“ (WILBOIS, et al., 2004).

Die Daten wurden mithilfe des Modells der einfaktoriellen Varianzanalyse in SPSS auf Signifikanz geprüft, wobei ein Signifikanzniveau von 0,05 gewählt wurde. Gleiche Buchstaben in den Ergebnistabellen weisen auf keine signifikanten Unterschiede hin, während unterschiedliche Buchstaben signifikante Unterschiede zwischen den Varianten anzeigen. Alle vier Varianten wurden miteinander verglichen.

Die Berechnung der Trockenmasseerträge (TM-Ertrag) in dt/ha basierte auf den Frischmasseerträgen und den Trockensubstanzgehalten und erfolgte nach der folgenden Methode:

$$\text{Trockenmasseertrag} = \left(\frac{\text{Frischmasseertrag}}{100} \right) * \text{Trockensubstanzgehalt}$$

Für die Berechnung des Kolben-Restpflanzen-Verhältnisses wurden die Parameter Bestandesdichte, Mais-Frischmasseertrag in dt/ha und die Kolbengewichte herangezogen. Über den Mais-Frischmasseertrag und die Bestandesdichte konnte das Einzelpflanzengewicht ermittelt werden. Dazu wurde die folgende Formel verwendet:

$$\text{Einzelpflanzengewicht} = \frac{\text{Mais - Frischmasseertrag (kg/ha)}}{\text{Besatndesdichte (Pflanzen/ha)}}$$

Das Ergebnis in Kilogramm pro Pflanze wird in Gramm pro Pflanze umgerechnet. Anschließend wird der prozentuale Anteil des Kolbens mit Hilfe des Kolbengewichtes am Gewicht der Pflanze ermittelt.

Die Berechnung der Rohprotein-, Stärke- und Energieerträge basierte auf dem Trockenmasseertrag in dt/ha. Die Werte der Vollanalyse wurden vom Labor in g/kg TS angegeben. Diese Werte wurden in Prozent pro kg TS umgerechnet. Anschließend wurde die folgende Formel verwendet:

$$\text{Ertrag (Rohprotein, Stärke, Energie)} = \left(\frac{\text{TM - Ertrag}}{100} \right) * \text{Nährstoffgehalt (\%)}$$

Die berechneten Erträge ermöglichen einen direkten Vergleich der Ertragsleistung auf futteranalytischer Ebene. Der Gehalt des Futtermittelinhaltsstoffes, wie in der Laboranalyse festgestellt, bleibt konstant, während sein Ertrag von der Menge des geernteten Materials abhängt. Dies erlaubt eine Darstellung der Flächenleistung. Zudem erleichtert es die Vergleichbarkeit mit der Literatur, da diese Darstellung dort ebenfalls häufig verwendet wird.

Für die Berechnung des Kolben-Restpflanzen-Verhältnisses wurden die Parameter Bestandesdichte, Mais-Frischmasseertrag in dt/ha und die Kolbengewichte herangezogen. Über den Mais-Frischmasseertrag und die Bestandesdichte konnte das Einzelpflanzengewicht ermittelt werden. Dazu wurde die folgende Formel verwendet:

$$\text{Einzelpflanzengewicht} = \frac{\text{Mais - Frischmasseertrag (kg/ha)}}{\text{Besatndesdichte (Pflanzen/ha)}}$$

Das Ergebnis in Kilogramm pro Pflanze wird in Gramm pro Pflanze umgerechnet. Anschließend wird der prozentuale Anteil des Kolbens mit Hilfe des Kolbengewichtes am Gewicht der Pflanze ermittelt.

5 Ergebnisse

Das nachfolgende Kapitel 5 präsentiert die erfassten Ergebnisse zu den Wetterdaten, Bonituren, Erträgen sowie Boden- und Futteranalysen. In den Ergebnisdarstellungen wurden die Mittelwerte und deren Standardabweichungen angegeben. Signifikante Unterschiede wurden mit Kleinbuchstaben gekennzeichnet. Bei Parametern, bei denen keine signifikanten Unterschiede festgestellt wurden, wurde auf die Verwendung von Kleinbuchstaben verzichtet.

5.1 Wetterdaten

Die Erfassung der Wetterdaten erstreckt sich auf den Vegetationszeitraum des Feldversuches, auf das Anbaujahr 2023 und auf mehrjährige Daten, um einen Vergleich zu ermöglichen.

Tabelle 19 zeigt eine Übersicht über die durchschnittlichen Jahrestemperaturen und Jahresniederschläge zwischen 2012 und 2023. Zu erkennen ist dabei, dass das Feldversuchsjahr 2023 zu den wärmeren Jahren mit einer durchschnittlichen Jahrestemperatur von 10,3 °C zählte. In den vorherigen 10 Jahren erreichten 5 Jahre eine Jahresdurchschnittstemperatur von über 10 °C. Bei Betrachtung der Niederschlagssummen erwies sich das Jahr 2023 mit 568,5 l/m² als niederschlagsreich, da in den vergangenen 10 Jahren zwischen 2012 und 2022 nur 2 Jahre über 500 l/m² Niederschlag verzeichnen konnten.

Tabelle 19: Durchschnittliche Jahrestemperaturen und -niederschläge am Standort Grünow zwischen 2012 und 2023 (WETTERKONTOR, 2023)

| Jahr | Temperatur in °C | Niederschlag in l/m ² |
|------|------------------|----------------------------------|
| 2023 | 10,3 | 568,5 |
| 2022 | 10,3 | 323,6 |
| 2021 | 9,2 | 649,2 |
| 2020 | 10,4 | 364,3 |
| 2019 | 10,6 | 454,8 |
| 2018 | 10,3 | 350,6 |
| 2017 | 9,4 | 646,6 |
| 2016 | 9,6 | 423,9 |
| 2015 | 9,8 | 412,4 |
| 2014 | 10,1 | 479,8 |
| 2013 | 8,7 | 489,5 |
| 2012 | 8,9 | 468,2 |

In Tabelle 20 sind die monatlichen Durchschnittstemperaturen und -niederschläge zwischen 2012 und 2023 abgebildet. Beim Vergleich der Herbst- und Wintermonate (September bis März) zeigte das Feldversuchsjahr 2023 höhere Temperaturen, als der Durchschnitt zwischen 2012 und 2022. Die Frühlings- und Sommerperiode (April bis August) verzeichnete geringere monatliche Durchschnittstemperaturen, als im Mittel zwischen 2012 und 2022. Die größte Differenz der monatlichen Durchschnittstemperatur zwischen dem Versuchsjahr 2023 und dem vorherigen 10-jährigen Mittel zeigt der Monat September. Bei Betrachtung der monatlichen Niederschlagsmengen erwiesen sich, verglichen mit dem Mittel zwischen 2012 und 2022, die Monate Juni, August und Dezember als niederschlagsreicher, da hier die Differenz bei über 30 l/m² lag. Die niederschlagsärmsten Monate im Jahr 2023 waren der Mai und September mit unter 10 l/m².

Tabelle 20: Monatliche Temperatur- und Niederschlagsmittelwerte am Standort Grünow zwischen 2012 und 2023 (WETTERKONTOR, 2023)

| Monat | Durchschnittliche Temperatur (°C) | | Durchschnittliche Niederschlag (l/m ²) | |
|-----------|-----------------------------------|------|--|-------|
| | 2012 – 2022 | 2023 | 2012 – 2022 | 2023 |
| Januar | 1,0 | 3,7 | 37,5 | 48,4 |
| Februar | 1,6 | 2,4 | 22,9 | 27,2 |
| März | 4,2 | 4,8 | 24,7 | 56,5 |
| April | 8,3 | 7,2 | 21,7 | 35,3 |
| Mai | 13,1 | 12,8 | 35,7 | 3,7 |
| Juni | 17,3 | 17,7 | 70,8 | 109,2 |
| Juli | 19,0 | 18,6 | 58,5 | 40,5 |
| August | 19,1 | 18,7 | 43,9 | 76,7 |
| September | 14,8 | 18,5 | 38,6 | 9,6 |
| Oktober | 10,4 | 11,2 | 41,6 | 64,9 |
| November | 5,5 | 5,5 | 33,5 | 33,7 |
| Dezember | 2,6 | 2,9 | 30,7 | 62,8 |

In Tabelle 21 wurden die wichtigsten Wetterparameter während des Vegetationsverlaufes des Feldversuches monatsweise dargestellt. Über den Vegetationszeitraum vom 09. Mai 2023 bis 17. September 2023 wurde eine Temperatursumme von 1.273,2 °C erreicht. In diesem Zeitabschnitt lag die durchschnittliche Tagesminimumtemperatur bei 11,3 °C und die durchschnittliche Tagesmaximumtemperatur bei 24,1 °C. Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Tagestemperatur während der Vegetation von 17,6 °C. Der heißeste Tag war

dabei der 15. Juli 2023 mit 34 °C. Über den Vegetationszeitraum wurde eine Niederschlagssumme von insgesamt 235,1 l/m² erfasst, wobei der Niederschlag stark von Monat zu Monat variierte. Mai und September waren dabei die niederschlagsärmsten Monate, Juni und August die niederschlagsreichsten.

Tabelle 21: Temperaturverlauf und Niederschläge im Vegetationszeitraum des Feldversuches am Standort Grünow (WETTERKONTOR, 2023)

| | ab 09.05.2023 | Juni 2023 | Juli 2023 | August 2023 | bis 17.09.2023 |
|-------------------------------------|------------------|--------------|--------------|----------------|-------------------|
| ∅ Tagestemp. Min (°C) | 6,9 | 10,6 | 12,4 | 13,6 | 12,1 |
| ∅ Tagestemp. Max (°C) | 20,3 | 24,2 | 25,4 | 24,5 | 26,0 |
| ∅ Tagestemp. (°C) | 13,9 | 17,7 | 18,6 | 18,7 | 19,1 |
| Niederschlag (l/m ²) | 0,9 | 109,2 | 40,5 | 76,2 | 7,8 |

Bei Betrachtung der nutzbaren Feldkapazität zum Jahresbeginn 2023 (Januar 2023) konnte in einer Bodentiefe von 20 cm von einer nutzbaren Feldkapazität von ca. 100 % ausgegangen werden (vgl. Anhang 9). Im Anhang 10 wurde die Entwicklung der nutzbaren Feldkapazität über den Vegetationszeitraum dargestellt. Zu erkennen ist dabei, dass zum Aussaatdatum, dem 09. Mai 2023, die nutzbare Feldkapazität zwischen 70 und 80 % lag und mit Fortschreiten der Vegetation weiter abnahm.

5.2 Bonituren

Die Ergebnisse der Bonituren gliedern sich in die Kontrolle der Bestandesdichte, die Erfassung von Unkräutern und Auffälligkeiten in der Vegetation.

In den Parzellen der Variante M-solo wurden einzelne Pflanzen entfernt, da die **Bestandesdichte** von 80.000 Pflanzen je Quadratmeter überschritten wurde. Es war keine Nachsaat erforderlich. In den Parzellen der Variante M-Stabo und M-Sorg wurden Auflaufprobleme bei den Gemengepartnern festgestellt. Daher wurde eine Nachsaat von Stangenbohnen und Sorghum vorgenommen. In den Parzellen der Variante M-Soblu wurde

eine zu hohe Dichte an Sonnenblumen festgestellt. Daher wurde durch Vereinzelung die Dichte reduziert und Maispflanzen nachgelegt. Tabelle 22 zeigt die Anzahl der nachzulegenden Saatkörner und Kulturen je Variante. Die meisten Körner mussten beim Mais in der Variante M-Soblu nachgelegt werden, da der Anteil an Sonnenblumen zu hoch und der vom Mais zu niedrig waren. Da das Sorghum zur Aussaat per Hand gesät wurde, kann es zu Ablagefehlern gekommen sein, was zu einem schlechten Aufgang führte und eine Nachsaat erforderlich machte.

Tabelle 22: Anzahl der nachzulegenden Saatkörner und Kulturen je Variante (eigene Darstellung)

| M-solo | M-Stabo | | M-Soblu | | M-Sorg | |
|--------|---------|--------------|---------|-------------|--------|---------|
| | Mais | Stangenbohne | Mais | Sonnenblume | Mais | Sorghum |
| 0 | 0 | 8 | 26 | 0 | 5 | 14 |

Die **Unkrautbonitur** wurde am 30. Mai 2023 durchgeführt, gleichzeitig erfolgte die manuelle Entfernung des Unkrauts. Die Arten wurden in jeder Parzelle gezählt. Die Tabelle 23 zeigt die Unkrautarten und ihre Dichte pro Quadratmeter je Variante. Der Windenknöterich erwies sich dabei als das dominierende Unkraut, gefolgt von der Hühnerhirse, dem Klettenlabkraut und der Kamille. In jeder Parzelle wurden durchschnittlich 39 Pflanzen des Windenknöterichs, 4 Pflanzen der Kamille, 17 Pflanzen der Hühnerhirse und 6 Pflanzen des Klettenlabkrauts gezählt. In Anhang 14 wurde alle vier Leitunkräuter fotografisch dokumentiert.

Tabelle 23: Unkrautdichte je m² in den Varianten des Feldversuches (eigene Darstellung)

| | Unkräuter (Anzahl/m ²) | | | |
|-----------------|------------------------------------|------------|------------|------------|
| | M-solo | M-Stabo | M-Soblu | M-Sorg |
| Windenknöterich | 2,4 | 2,6 | 2,7 | 2,7 |
| Kamille | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,2 |
| Hühnerhirse | 1,1 | 1,4 | 1,1 | 1,0 |
| Klettenlabkraut | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,3 |
| Summe | 4,2 | 4,7 | 4,4 | 4,3 |

Die erste Bonitur am **30. Mai 2023** zeigte einen guten Feldaufgang der einzelnen Kulturen (vgl. Anhang 12). Die Sorghum-Pflanzen zeigten zu diesem Zeitpunkt eine starke violette Blutfärbung. Bei der zweiten Bonitur am **09. Juni 2023** (vgl. Anhang 13) wurden violette Blattverfärbungen an Maispflanzen in den Varianten M-Stabo dokumentiert (vgl. Anhang 13 – Abbildung 2). Ebenso zeigten sich Fehlstellen bei den Kulturen innerhalb der Parzellen (vgl. Anhang 13 – Abbildung 1, 3, 5 und 7), die wie oben in Tabelle 22 beschrieben durch eine Nachsaat ausgeglichen wurden. Zusätzlich wurde eine Bewässerung von 10 Litern pro Parzelle direkt auf die Saatzeilen durchgeführt, um die anhaltende Trockenheit seit der Aussaat zu überbrücken und die Nachsaat bei der Quellung und Keimung zu unterstützen. Diese Bewässerung erfolgte in den Abendstunden, um die Verdunstung zu minimieren. Die Stangenbohnen und Sonnenblumen bestockten und zeigten einen gesunden Blattapparat (vgl. Anhang 13 – Abbildung 4 und 6). Das Sorghum entwickelte sich sehr langsam im Vergleich zu den anderen Kulturen. Die Folgeböschung am **19. Juni 2023** (vgl. Anhang 15) zeigte den Mais im 6- bis 7-Blatt-Stadium. Einige Bohnenpflanzen wiesen nekrotische Veränderungen an den Keimblättern sowie gelbliche Verfärbungen der jüngeren Blätter auf. Die nachgesäten Maispflanzen befanden sich zu diesem Zeitpunkt im 2-Blatt-Stadium, wobei eine Maispflanze eine Peitschenbildung aufwies (vgl. Anhang 15 – Abbildung 3). In der Wiederholung 2 der Variante M-Soblu wurden Schäden durch Rotwild und Kaninchen festgestellt, die die Sonnenblumen abgefressen hatten (vgl. Anhang 15 – Abbildung 2). Aufgrund der Schäden durch die Tiere wurden zur Bonitur am **25. Juni 2023** (vgl. Anhang 16 – Abbildung 1) Vergrämungsmittel in Form von Dufttüchern und Tierhaaren im Versuchsbereich verteilt. Die vorangegangenen Niederschläge trugen zur Erholung der Mais- und Bohnenpflanzen bei, wodurch sie sehr vital wirkten (vgl. Anhang 16 – Abbildung 2, 3, 5 und 7). Die nachgelegten Bohnenpflanzen wuchsen, trotz höherer Beschattung durch den Mais, zügig (vgl. Anhang 16 – Abbildung 4). Die Vergrämungsmittel zeigten nur begrenzt ihre Wirkung (vgl. Anhang 16 – Abbildung 6). Die Entwicklung des Sorghums verlief weiterhin sehr langsam und verzögert (vgl. Anhang 16 – Abbildung 7). Er war zwischen den Maiszeilen kaum erkennbar. Zur Bonitur am **03. Juli 2023** (vgl. Anhang 17) befanden sich die Maispflanzen im Längenwachstum mit 9 bis 10 ausgebildeten Blättern und erreichten eine Höhe von etwa 1 m (vgl. Anhang 17 – Abbildung 1). An diesem Tag waren erste Wachstumsdepressionen in den M-Soblu-Varianten zu erkennen, da der Mais dort rund 20 cm kürzer war als in den anderen Varianten (vgl. Anhang 17 – Abbildung 6). Die Sonnenblume erreichte zu diesem Zeitpunkt die gleiche Wuchshöhe wie der Mais. Die Stangenbohne begann sich an der Maispflanze hochzuranken (vgl. Anhang 17 – Abbildung 3). Das Sorghum wuchs weiterhin sehr langsam und war um ein Vielfaches kleiner, als der Mais (vgl. Anhang 17 – Abbildung 8). Die Bonitur am **18. Juli 2023** (vgl. Anhang 18) zeigte erste Kolbenansätze in den Blattachsen, wobei die Maispflanzen zu diesem Zeitpunkt etwa 1,60 m hoch waren (vgl. Anhang 18 – Abbildung 1).

Die ersten Rispen ragten aus dem obersten Blatt der Maispflanze heraus (vgl. Anhang 16 – Abbildung 1). Die Wachstumsdepression der Maispflanzen innerhalb der M-Soblu-Varianten setzte sich fort (vgl. Anhang 18 – Abbildung 5 und 6), während die Sonnenblume parallel mit dem Mais wuchs. Trotz der starken Beschattung durch die Maispflanzen konnte sich die Bohnenpflanze gut entwickeln und am Mais hochranken (vgl. Anhang 18 – Abbildung 2). Zur Bonitur am **02. August 2023** (vgl. Anhang 19) zeigte die Sonnenblume in Vollblüte (vgl. Anhang 19 – Abbildung 5). Die Maispflanzen befanden sich ab dem 25. Juli 2023 im Stadium der Vollblüte mit einer Tendenz zum Ende der Blüte, was an den Narbenfäden erkennbar war, die begannen, ihre Feuchtigkeit und Elastizität zu verlieren (vgl. Anhang 19 – Abbildung 3). Die Stangenbohnen hatten zu diesem Zeitpunkt die Maispflanzen vollständig umrankt, jedoch waren noch keine Blüten zu sehen (vgl. Anhang 19 – Abbildung 4). Die Sorghumpflanzen waren ca. 20 bis 30 cm kleiner, als der Mais (vgl. Anhang 19 – Abbildung 2). Am **14. August 2023** (vgl. Anhang 20) wurden die Blüten der Stangenbohnen sichtbar (vgl. Anhang 20 – Abbildung 2). Der Mais befand sich in der Kornfüllungsphase, was am zunehmenden Umfang der Maiskolben zu erkennen war (vgl. Anhang 20 – Abbildung 1). An einigen Mais- und Sonnenblumenpflanzen wurden erneut Schäden durch Rotwild festgestellt (vgl. Anhang 20 – Abbildung 4), wobei die Sonnenblumenköpfe teilweise Körner verloren hatten (vgl. Anhang 20 – Abbildung 3), möglicherweise durch Vögel verursacht. Zusätzlich neigten sich die Sonnenblumen zwischen die Reihen (vgl. Anhang 20 – Abbildung 3). Bei der vorletzten Bonitur am **04. September 2023** waren an den Stangenbohnen kleine Schoten erkennbar. Gelbliche bis braune Verfärbungen der Lieschblätter der Maiskolben wiesen auf eine Abreife und Wasserabgabe der Pflanzen hin. Die Sorghumpflanzen ragten etwa 25 cm über den Mais hinaus und zeigten ausgebildete Rispen. Am Erntetag, dem **17. September 2023** (vgl. Anhang 21), waren die Lieschblätter der Maiskolben vertrocknet, was auf das Ende der Stärkeeinlagerung und damit den Erntezeitpunkt hinwies (vgl. Anhang 21 – Abbildung 1). Die Schoten der Bohnenpflanzen hatten sich weiterentwickelt und ließen Bohnensamen erkennen (vgl. Anhang 21 – Abbildung 2). Einige Maispflanzen hatten einen Zweitkolben gebildet, der jedoch nur zu etwa der Hälfte ausgekörnt war. Die Köpfe der Sonnenblumen waren teilweise vertrocknet und enthielten nur noch wenige Samen. Es wurden keine Schäden durch den Maiszünsler festgestellt.

5.3 Bodenanalysen

In Tabelle 24 sind die Ergebnisse der Bodenanalysen einsehbar. Dabei wurden die Mittelwerte der Varianten zur Aussaat und zur Ernte dargestellt. Zu jedem Wert wurde die Standardabweichung ergänzt. Signifikante Unterschiede konnten innerhalb der Ergebnisse

nicht festgestellt werden, daher wurden auch keine Signifikanzen mit Kleinbuchstaben gekennzeichnet.

Die **N_{min}-Werte** vor der Aussaat lagen in einer Tiefe von 0 cm bis 30 cm durchschnittlich über alle Varianten bei 168 kg/ha. Dabei zeigte die Variante M-solo die höchsten Werte und Standardabweichungen und die Variante M-Soblu die niedrigsten. In einer Tiefe von 60 cm bis 90 cm waren die N_{min}-Werte zur Aussaat deutlich niedriger mit durchschnittlich 40 kg/ha. Die Variante M-Sorg wich von den anderen Varianten mit einem Wert von 52,3 kg/ha deutlich ab. Nach der Ernte sanken die N_{min}-Werte in der Bodentiefe 0 cm bis 30 cm auf durchschnittlich 18 kg/ha und in 60 cm bis 90 cm auf 12,5 kg/ha. Die Differenz zwischen Aussaat und Ernte war in der oberen Bodenschicht höher, als in der tieferen Schicht bei 60 cm bis 90 cm. Im Mittel über die analysierten Varianten lag der **pH-Wert** zur Aussaat bei 6,6 und stieg zur Ernte auf 6,8. Die Variante M-Sorg zeigte die höchsten pH-Werte zur Aussaat und Ernte und die Variante M-solo die niedrigsten. Die Analyse des sich im Boden befindenden pflanzenverfügbaren **Phosphor** zeigt im Durchschnitt über alle Varianten eine Senkung von 12,1 mg/100 g zur Aussaat auf 10,7 mg/100 g zur Ernte. Die Variante M-solo hatte dabei die geringste Differenz zwischen Aussaat und Ernte mit 0,5 mg P/100g Boden. Die größten Differenzen entstanden in den Varianten M-Soblu mit 1,8 mg P/100g Boden und M-Sorg mit 1,9 mg P/100g Boden. Die Untersuchungen zum **Kalium** zeigten im Durchschnitt über alle Varianten 23,3 mg/100 g Boden zur Aussaat. Dieser Wert verringerte sich über die Vegetation auf durchschnittlich 15,8 mg/100 g Boden. Die größte Differenz zeigte dabei die Variante M-Soblu und die geringste in Variante M-Stabo. In Hinblick auf die Magnesium-Werte wurden zur Aussaat die höchsten Gehalte in Variante M-Stabo ermittelt, wobei die Varianten M-solo und M-Sorg ähnlichen Trends zeigten. Die Variante M-Soblu wich mit einem geringeren Wert von 8,8 g Mg/100 g Boden stärker ab. Zur Ernte zeigte die Variante M-Soblu wieder den geringsten Magnesiumanteil. Die größte Differenz zwischen Aussaat und Ernte war mit 1,9 g Mg/100g Boden in Variante M-Sorg zu finden. Die Varianten M-solo und M-Soblu verzeichneten die gleiche Differenz mit 1,4 g Mg/100g Boden und M-Stabo die geringste mit 1,1 g Mg/100g Boden. Der **Humusanteil** nahm über alle Varianten über die Vegetation zu. Der größte Zuwachs wurde in Variante M-Stabo ermittelt. Allerdings unterschieden sich die Humusgehalte zur Ernte nur um 0,1 bis 0,3 %.

Tabelle 24: Analysewerte der Bodenanalysen zur Aussaat und Ernte (eigene Darstellung)

| Bodenanalyse | | Aussaat | | | | Ernte | | | |
|-----------------------------|------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| | | M-solo | M-Stabo | M-Soblu | M-Sorg | M-solo | M-Stabo | M-Soblu | M-Sorg |
| N _{min} 0-30 cm | kg/ha | 183,0 ± 48,5 | 158,0 ± 21,1 | 157,7 ± 8,6 | 174,7 ± 12,7 | 17,3 ± 8,0 | 15,0 ± 3,6 | 17,7 ± 2,5 | 21,7 ± 14,1 |
| | kg/ha | 34,7 ± 5,5 | 37,3 ± 3,2 | 36,0 ± 3,5 | 52,3 ± 26,6 | 10,7 ± 2,1 | 10,3 ± 2,1 | 11,7 ± 1,5 | 17,3 ± 11,2 |
| pH-Wert | mg/100g Boden pflanzenverfügbar | 6,3 ± 0,1 | 6,6 ± 0,1 | 6,6 ± 0,2 | 6,7 ± 0,2 | 6,7 ± 0,1 | 6,8 ± 0,3 | 6,8 ± 0,1 | 6,9 ± 0,1 |
| P | mg/100g Boden pflanzenverfügbar | 12,0 ± 0,7 | 11,6 ± 0,8 | 11,7 ± 1,1 | 12,9 ± 1,8 | 11,5 ± 1,9 | 10,6 ± 1,4 | 9,8 ± 1,2 | 11,0 ± 1,7 |
| K | mg/100g Boden pflanzenverfügbar | 22,0 ± 1,0 | 23,7 ± 3,2 | 22,3 ± 3,5 | 25,0 ± 2,0 | 14,7 ± 2,9 | 17,3 ± 7,5 | 13,7 ± 0,6 | 17,3 ± 2,3 |
| Mg | mg/100g Boden pflanzenverfügbar | 9,5 ± 0,5 | 9,6 ± 0,4 | 8,8 ± 0,2 | 9,4 ± 0,9 | 8,1 ± 1,2 | 8,5 ± 1,0 | 7,4 ± 0,2 | 7,5 ± 0,5 |
| Humus | % | 3,0 ± 0,2 | 3,0 ± 0,1 | 3,0 ± 0,2 | 3,1 ± 0,2 | 3,9 ± 0,4 | 4,1 ± 0,2 | 3,8 ± 0,1 | 4,1 ± 0,2 |

5.4 Ertragserfassung

Zur Erfassung der Erträge wurden die Parameter Pflanzenlänge, Frischmasseertrag und Kolbengewicht ermittelt. Die Abbildungen 6, 7 und 8 enthalten die Mittelwerte der jeweiligen Varianten sowie die Minimum- und Maximumwerte. Signifikante Unterschiede wurden durch kleine Buchstaben hervorgehoben.

In Abbildung 6 werden die ermittelten Pflanzenlängen der Maispflanzen in den Varianten dargestellt, wobei Mittelwert, Minimum und Maximum mit den gerundeten Messwerten angegeben wurden. Die farblich markierten Flächen umfassen 50 % der Messdaten.

Im Durchschnitt betrug die **Pflanzenlänge der Maispflanze** über alle Varianten $204,1 \pm 12,4$ cm. Die Variante M-Stabo wies mit 210 cm die höchsten mittleren Pflanzenlängen auf. Es wurden signifikante Unterschiede innerhalb der Varianten festgestellt. Aus der Abbildung 6 geht hervor, dass die Varianten M-Solo, M-Stabo und M-Sorg mit Pflanzenlängen von über 200 cm keine signifikanten Unterschiede untereinander aufwiesen. Das Gleiche gilt für den Vergleich zwischen M-Soblu und M-Sorg. Allerdings waren die Maispflanzen in der Variante M-Soblu mit einem Mittelwert von 195 cm signifikant kürzer, als in den Varianten M-solo und M-Stabo.

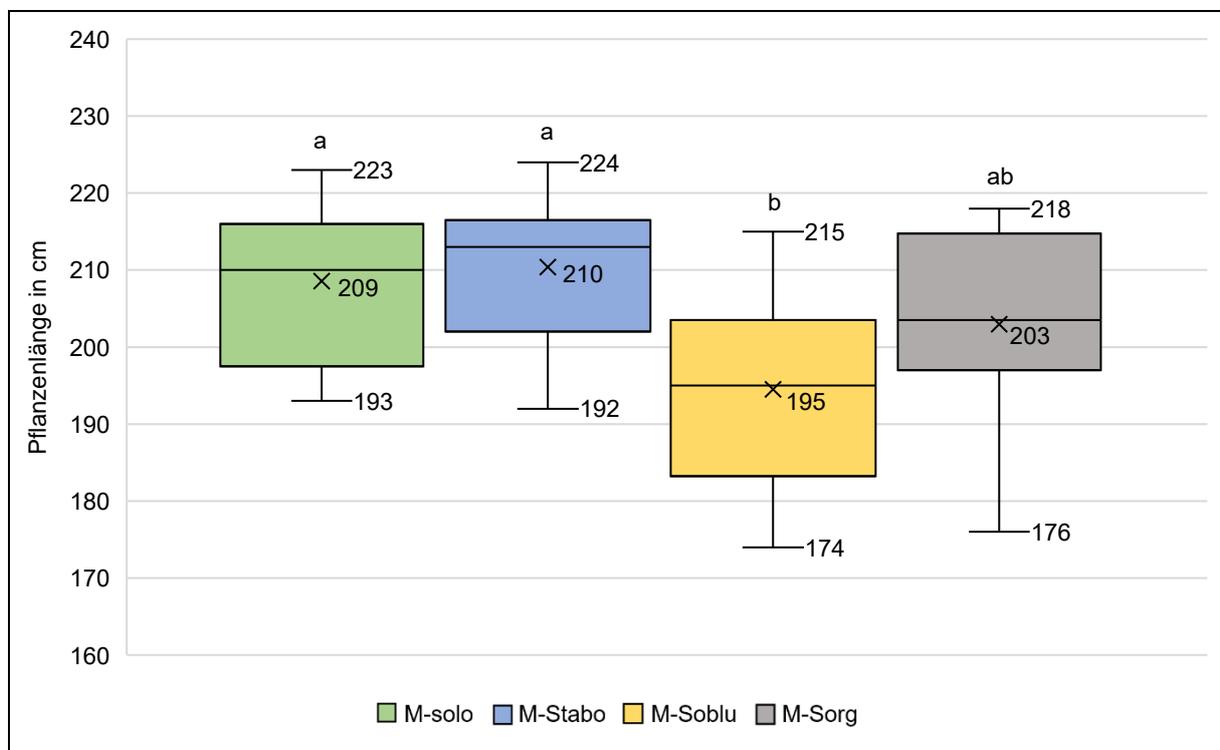


Abbildung 6: Pflanzenlänge der Maispflanze der Versuchsvarianten (eigene Darstellung)

Die identifizierten **Frischmasseerträge** der vier Varianten wurden in Abbildung 7 als Säulendiagramm dargestellt. Der Ertragsanteil des Mais ist grün dargestellt, darüber in verschiedenen Farben der Ertrag des jeweiligen Gemengepartners. Innerhalb der Säulen sind die gerundeten Erträge angegeben und eventuelle Signifikanzunterschiede sind durch Kleinbuchstaben über den Säulen gekennzeichnet.

Im Durchschnitt betrug der Frischmasseertrag über alle Proben hinweg $661,8 \pm 112,7$ dt/ha, wobei signifikante Unterschiede zwischen den Varianten festgestellt wurden. Variante M-Sorg wies mit rund 767 dt/ha den höchsten Frischmasseertrag auf, der sich signifikant nur von Variante M-Solo, nicht jedoch von M-Stabo und M-Soblu unterschied. Variante M-Solo erzielte den niedrigsten Frischmasseertrag mit rund 512 dt/ha. Bei Betrachtung der reinen Maiserträge innerhalb der Varianten war ein signifikant niedrigerer Frischmasseertrag von rund 357 dt/ha in Variante M-Soblu im Vergleich zu den anderen drei Varianten festzustellen.

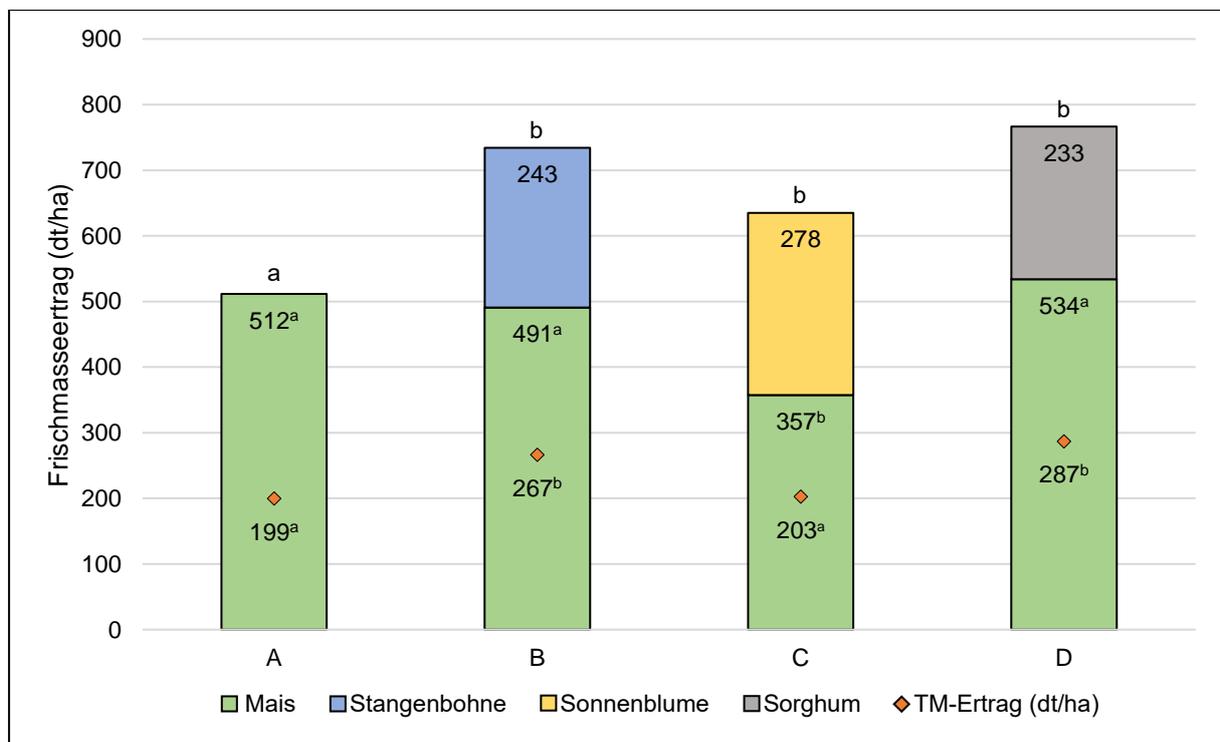


Abbildung 7: Frischmasseerträge der Gemengekomponenten und Gesamt-TM-Ertrag (eigene Darstellung)

Basierend auf den Trockensubstanzgehalten aus Tabelle 25 wurden die **Trockenmasseerträge** in Abbildung 7 berechnet. Im Durchschnitt aller Proben konnte ein Trockenmasseertrag von $238,8 \pm 18,9$ dt/ha ermittelt werden. Es wurden signifikante Unterschiede innerhalb der Ergebnisse festgestellt, wobei die Varianten M-Solo und M-Soblu signifikant geringere Trockenmasseerträge aufwiesen, als die Varianten M-Stabo und M-Sorg.

Betrachtet man die **Trockensubstanzgehalte** in Tabelle 25, so zeigt sich, dass die Variante M-Solo den höchsten TS-Gehalt mit 39,0 % aufwies, während die Variante M-Soblu den geringsten mit 31,9 % verzeichnete. Es wurden keine signifikanten Unterschiede innerhalb der drei Gemengevarianten festgestellt, ebenso nicht zwischen M-Solo, M-Stabo und M-Sorg. Lediglich Variante M-Soblu zeigte einen signifikanten Unterschied zur Variante M-solo.

Tabelle 25: Trockensubstanzgehalte der Versuchsvarianten (eigene Darstellung)

| | M-solo | M-Stabo | M-Soblu | M-Sorg |
|----------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| TS-Gehalt in % | 39,0 ^a ± 2,6 | 36,3 ^{ab} ± 3,9 | 31,9 ^b ± 0,6 | 37,4 ^{ab} ± 1,7 |

Als weiterer Ertragsfaktor wurden die **Kolbengewichte** der Maispflanzen in den Varianten erfasst (Abbildung 8). Im Durchschnitt aller Proben wurde ein Kolbengewicht von 291,5 g ± 40,8 g ermittelt. Es zeigten sich signifikante Unterschiede innerhalb der Varianten. Die höchsten Kolbengewichte wurden bei Variante M-Solo mit rund 328 g gemessen. Die Varianten M-Solo, M-Stabo und M-Sorg wiesen untereinander keine signifikanten Unterschiede auf. Hingegen zeigte Variante M-Soblu mit 245 g signifikant die geringsten Kolbengewichte.

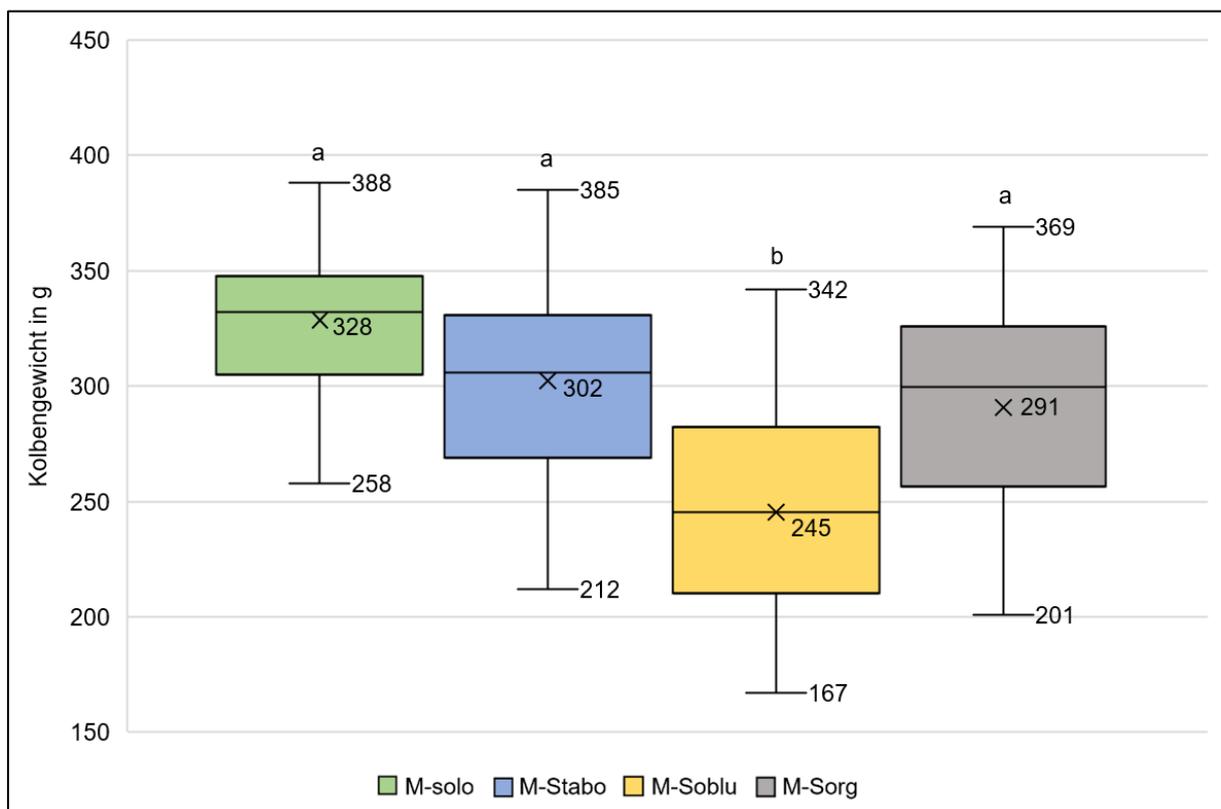


Abbildung 8: Kolbengewichte der Maispflanzen in den Versuchsvarianten (eigene Darstellung)

Bei Betrachtung der Kolben-Restpflanzen-Verhältnisse in Tabelle 26 zeigten sich ähnliche Werte unter den Varianten M-solo und M-Stabo. Die Variante M-Soblu wies den höchsten Kolbenanteil mit 54,9 % auf. Die Varianten M-Stabo und M-Sorg lagen beide bei einem Kolbenanteil von unter 50 %.

Tabelle 26: Kolben-Restpflanzen-Verhältnisse der Maispflanzen in den Varianten (eigene Darstellung)

| | | M-solo | M-Stabo | M-Soblu | M-Sorg |
|--------------------|---|--------|---------|---------|--------|
| Anteil Kolben | % | 51,3 | 49,2 | 54,9 | 43,6 |
| Anteil Restpflanze | % | 48,7 | 50,8 | 45,1 | 56,4 |

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass zwischen den Varianten M-solo und M-Stabo keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf Pflanzenlänge, Mais-Frischmasseertrag und Kolbengewicht festgestellt wurden. Innerhalb der Gemengevarianten wies die Variante M-Soblu die geringsten Frischmasseerträge und Kolbengewichte sowie die kürzesten Maispflanzen auf. Alle drei Gemenge zeigten niedrigere Trockensubstanzgehalte im Vergleich zum solo angebauten Mais.

5.5 Futteranalysen – Vergleich der Varianten

Die Analyse von Maissilage, spielt eine entscheidende Rolle bei der Sicherstellung einer fundierten Tierernährung sowie Biogasproduktion und somit einer nachhaltigen landwirtschaftlichen Praxis. In diesem Zusammenhang stehen Daten im Mittelpunkt, die einen umfassenden Einblick in die Zusammensetzung von Futtermitteln ermöglichen. Dieser Überblick umfasst die qualitative Analyse von frischen Proben und der silierten Varianten, die Analyse der Faserfraktionen, die Kationen-Anionen-Bilanz (DCAB), die Untersuchung der Gärsäuremuster sowie die Biogaserträge und -ausbeuten.

Die Unterscheidung zwischen frischem und siliertem Futtergrundlage ist von großer Bedeutung, da der Silierprozess die Zusammensetzung des Futters verändern kann. Die Vollanalyse beinhaltet die präzise Bestimmung von Rohasche, Rohprotein, Rohfaser, Stärke, Rohfett, ELOS und NEL sowohl im frischen Zustand des Ernteguts als auch nach der Silierung.

In Tabelle 27 sind die Analysewerte der frischen Proben aufgeführt, während Tabelle 28 die Ergebnisse der silierten Proben präsentiert.

Den Ergebnissen der frischen Vollanalyse (Tabelle 27) ist zu entnehmen, dass bei allen Parametern signifikante Unterschiede zwischen den Varianten zu finden waren. Die Variante M-Stabo zeigte beim Rohprotein signifikante Unterschiede zu Variante M-solo, in allen anderen Parametern zeigten diese beiden Varianten keine signifikanten Unterschiede. Zwischen den Varianten M-solo und M-Sorg waren nur bei den Parametern Rohfaser, Stärke, ELOS und NEL signifikante Unterschiede erkennbar. Innerhalb der Gemengevarianten M-Stabo, M-Soblu und M-Sorg variierten die Signifikanzen untereinander. Bei der Betrachtung der Rohproteinerträge und der Energieerträge zeigten sich ähnliche Ergebnisse zwischen M-Stabo und M-Sorg. Ebenso war eine ähnliche Tendenz zwischen M-solo und M-Soblu erkennbar. Bezüglich des Stärkeertrags wies die Variante M-Soblu den niedrigsten Ertrag auf, ähnliche Tendenzen waren zwischen M-solo und M-Sorg erkennbar. Die Variante M-Stabo erzielte den höchsten Stärkeertrag mit 103,4 dt/ha.

Die Analyse der Faserfraktionen NDF (neutral detergent fiber), ADF (acid detergent fiber) und ADL (acid detergent lignin) bietet eine detaillierte Perspektive auf die Faserzusammensetzung, welche einen starken Einfluss auf die Verdaulichkeit bei Wiederkäuern und der Bakterien in der Biogasanlage hat. Bei der Untersuchung der Faserfraktionswerte der frischen Maisproben in Tabelle 27 zeigte sich, dass die Variante M-Stabo die geringsten ADF-Ergebnisse erzielte. Diese Variante wies signifikante Unterschiede zu den Gemengen M-Soblu und M-Sorg auf. Der ADF-Wert des solo angebauten Maises wies keine signifikanten Unterschiede zu den anderen Varianten auf. In Bezug auf die NDF war in der Variante M-Sorg das höchste Ergebnis zu verzeichnen. Ähnliche Tendenzen waren zwischen M-solo und M-Stabo, sowie zwischen M-Soblu und M-Sorg zu erkennen. In Bezug auf das ADL-Ergebnis wies die Variante M-Soblu die höchsten Werte und M-solo die niedrigsten auf. Signifikante Unterschiede zeigten sich zwischen M-Soblu und M-solo sowie M-Stabo, jedoch nicht gegenüber M-Sorg.

Die Überwachung der Kationen-Anionen-Bilanz (DCAB) ist von entscheidender Bedeutung für die Vermeidung von Stoffwechselstörungen bei Wiederkäuern. In Tabelle 27 sind die Analyseergebnisse der frischen Proben sowie deren Signifikanz dargestellt. Bei den Ergebnissen für Kalium, Chlorid und den DCAB-Wert zeigten sich ähnliche Trends in Bezug auf die Signifikanz. Dabei wies die Variante M-Soblu bei diesen drei Parametern den höchsten Wert auf und M-solo den niedrigsten. Ein signifikanter Unterschied zeigte sich bei der Variante M-Soblu im Vergleich zu den drei anderen Varianten. Hinsichtlich des Parameters Schwefel zeigte M-Soblu das höchste Ergebnis, wobei signifikante Unterschiede zwischen dieser Variante und M-solo sowie M-Sorg festgestellt wurden. Ähnliche Trends waren zwischen M-solo und M-Stabo sowie zwischen M-solo und M-Sorg zu erkennen.

Tabelle 27: Analysewerte der Vollanalyse und Erträge der frischen Proben (eigene Darstellung)

| Vollanalyse | | frisch | | | |
|-----------------------|-----------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | | M-solo | M-Stabo | M-Soblu | M-Sorg |
| TS-Gehalt | % | 39,0 ^a ± 2,6 | 36,3 ^{ab} ± 3,9 | 31,9 ^b ± 0,6 | 37,4 ^{ab} ± 1,7 |
| Rohasche | g/kg TS | 30,7 ^a ± 1,2 | 38,7 ^a ± 7,5 | 56,3 ^b ± 6,7 | 35,3 ^a ± 1,5 |
| Rohprotein | g/kg TS | 65,7 ^a ± 0,6 | 81,0 ^b ± 2,6 | 67,7 ^a ± 1,5 | 67,7 ^a ± 5,0 |
| Rohprotein- ertrag | dt/ha | 13,1 | 21,6 | 13,7 | 19,4 |
| Rohfaser | g/kg TS | 167,7 ^a ± 6,1 | 155,7 ^a ± 20,0 | 222,3 ^b ± 18,6 | 214,3 ^b ± 7,1 |
| NDF | g/kg TS | 361,3 ^a ± 11,6 | 341,0 ^a ± 33,2 | 437,0 ^b ± 15,1 | 455,0 ^b ± 5,6 |
| ADF | g/kg TS | 206,3 ^{ab} ± 6,0 | 176,0 ^b ± 28,0 | 250,3 ^a ± 26,3 | 237,3 ^a ± 7,2 |
| ADL | g/kg TS | 18,7 ^a ± 3,8 | 23,0 ^a ± 13,0 | 44,3 ^b ± 6,1 | 36,3 ^{ab} ± 1,2 |
| Stärke | g/kg TS | 358,0 ^a ± 23,8 | 387,3 ^a ± 45,3 | 234,3 ^b ± 42,2 | 250,3 ^b ± 9,6 |
| Stärke- ertrag | dt/ha | 71,2 | 103,4 | 47,6 | 71,8 |
| Rohfett | g/kg TS | 30,0 ^a ± 1,7 | 38,7 ^{ab} ± 3,5 | 45,7 ^b ± 10,0 | 31,0 ^a ± 1,7 |
| ELOS | g/kg TS | 751,3 ^a ± 5,7 | 728,3 ^a ± 19,6 | 640,0 ^b ± 18,5 | 618,7 ^b ± 11,0 |
| NEL | MJ/kg TS | 6,9 ^a ± 0,1 | 7,1 ^a ± 0,3 | 6,4 ^b ± 0,3 | 6,4 ^b ± 0,1 |
| Energie- ertrag | dt/ha | 137 | 190 | 130 | 184 |
| Natrium | g/kg TS | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 |
| Kalium | g/kg TS | 7,0 ^a ± 0,4 | 8,3 ^a ± 1,3 | 13,6 ^b ± 1,9 | 7,7 ^a ± 0,2 |
| Chlorid | g/kg TS | 1,3 ^a ± 0,2 | 1,4 ^a ± 0,4 | 3,5 ^b ± 0,4 | 1,5 ^a ± 0,1 |
| Schwefel | g/kg TS | 0,8 ^{ac} ± 0,1 | 1,0 ^{ab} ± 0,1 | 1,1 ^b ± 0,1 | 0,8 ^c ± 0,1 |
| DCAB | meq/kg TS | 93,0 ^a ± 4,4 | 114,3 ^a ± 21,0 | 188,3 ^b ± 34,0 | 107,7 ^a ± 3,8 |

Die Analysewerte der silierten Proben in Tabelle 28 ergaben, dass der signifikante Unterschied bei der Rohasche dem der frischen Analyse entsprach. Der TS-Gehalt, die Rohfaser-, die Stärke- sowie die ELOS- und NEL-Werte zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Gemengevarianten. Bezüglich des Rohproteingehalts unterschied sich M-solo nicht von M-Stabo, jedoch wurde ein signifikanter Unterschied zwischen M-Stabo und M-Soblu festgestellt. In Bezug auf den Rohfettgehalt wies die Variante M-Soblu signifikant höhere Werte im Vergleich zu den drei anderen Varianten auf. Hinsichtlich der Stärke und NEL wurden ähnliche signifikante Unterschiede zwischen M-solo und M-Sorg festgestellt. In Tabelle 28 sind ebenfalls die Analyseergebnisse der Faserfraktionen der silierten Varianten dargestellt. Im Gegensatz zur frischen Probenahme war kein signifikanter Unterschied in den ADF-Werten

feststellbar. Bei der Untersuchung der NDF zeigte sich, dass die Variante M-solo signifikante Unterschiede im Vergleich zu den Gemengevarianten M-Stabo und M-Soblu aufwies. Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen M-solo und M-Sorg sowie zwischen M-Stabo und M-Soblu festgestellt. M-Sorg wies dabei die höchsten Ergebnisse auf und M-Stabo die niedrigsten. Hinsichtlich der ADL-Werte zeigten die drei Gemengevarianten ähnliche Tendenzen. Es wurde ein signifikanter Unterschied zwischen M-solo und M-Soblu festgestellt, wobei M-Soblu auch den höchsten Wert unter allen Varianten aufwies.

Tabelle 28: Analysewerte der Vollanalyse und Erträge der silierten Proben (eigene Darstellung)

| Vollanalyse | | siliert | | | |
|-----------------------|-----------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| | | M-solo | M-Stabo | M-Soblu | M-Sorg |
| TS-Gehalt | % | 38,9 ^a ± 1,4 | 34,5 ^b ± 1,8 | 34,1 ^b ± 2,2 | 38,0 ^{ab} ± 1,1 |
| Rohasche | g/kg TS | 32,7 ^a ± 0,6 | 33,7 ^a ± 3,1 | 44,7 ^b ± 4,5 | 30,0 ^a ± 1,0 |
| Rohprotein | g/kg TS | 78,3 ^{ab} ± 1,2 | 80,7 ^a ± 3,8 | 70,7 ^b ± 3,2 | 74,0 ^{ab} ± 5,2 |
| Rohprotein- ertrag | dt/ha | 15,6 | 21,5 | 14,4 | 21,2 |
| Rohfaser | g/kg TS | 160,3 ^a ± 3,2 | 178,3 ^{ab} ± 12,9 | 195,7 ^b ± 19,3 | 199,7 ^b ± 12,4 |
| NDF | g/kg TS | 390,3 ^{ac} ± 4,6 | 346,0 ^b ± 1,7 | 355,0 ^b ± 26,0 | 406,3 ^c ± 3,2 |
| ADF | g/kg TS | 188,0 ± 2,7 | 192,3 ± 10,1 | 215,3 ± 23,5 | 223,7 ± 9,8 |
| ADL | g/kg TS | 23,3 ^a ± 1,5 | 29,3 ^{ab} ± 2,5 | 40,0 ^b ± 7,8 | 31,3 ^{ab} ± 1,5 |
| Stärke | g/kg TS | 407,0 ^a ± 10,0 | 381,0 ^{ab} ± 24,4 | 327,0 ^{ab} ± 54,7 | 326,7 ^b ± 8,0 |
| Stärke- ertrag | dt/ha | 81,0 | 101,7 | 66,4 | 93,8 |
| Rohfett | g/kg TS | 33,0 ^a ± 0,0 | 31,0 ^a ± 4,0 | 53,3 ^b ± 7,8 | 27,7 ^a ± 1,2 |
| ELOS | g/kg TS | 762,0 ^a ± 6,2 | 698,0 ^b ± 28,0 | 687,7 ^b ± 31,3 | 658,3 ^b ± 9,0 |
| NEL | MJ/kg TS | 7,0 ^a ± 0,1 | 6,8 ^{ab} ± 0,2 | 6,8 ^{ab} ± 0,2 | 6,5 ^b ± 0,1 |
| Energie- ertrag | dt/ha | 139 | 182 | 138 | 187 |
| Natrium | g/kg TS | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 |
| Kalium | g/kg TS | 6,5 ^a ± 0,3 | 8,3 ^a ± 0,8 | 10,9 ^b ± 1,4 | 7,3 ^a ± 0,4 |
| Chlorid | g/kg TS | 1,5 ^a ± 0,1 | 1,8 ^a ± 0,3 | 2,9 ^b ± 0,3 | 1,6 ^a ± 0,1 |
| Schwefel | g/kg TS | 0,9 ± 0,1 | 0,9 ± 0,1 | 1,0 ± 0,1 | 0,9 ± 0,1 |
| DCAB | meq/kg TS | 72,7 ^a ± 7,5 | 107,7 ^{ab} ± 12,9 | 140,3 ^b ± 24,1 | 90,0 ^a ± 6,9 |

Bei der Betrachtung der DCAB – Analyseergebnisse der silierten Proben in Tabelle 28 wurden identische signifikante Ergebnisse bei den Parametern Kalium und Chlorid festgestellt wie in der frischen Analyse. Auch hier wiesen die Proben von M-Soblu die höchsten Werte auf, während die von M-solo die niedrigsten waren. Ähnliche Trends zeigten sich auch beim DCAB-Wert, wobei größere Unterschiede zwischen den frischen und silierten Proben erkennbar waren.

Gärsäuren sind bedeutend für den Silierprozess und können die Stabilität sowie die Qualität von Silagen beeinflussen. Die Gehalte an Milch-, Butter- und Essigsäure wiesen ähnliche Trends auf, ohne signifikante Unterschiede zwischen den Varianten (Tabelle 29). Die Ergebnisse des pH-Wertes der Silagen variierten um eine Nachkommastelle. Dabei erreichte die Variante M-Sorg einen niedrigeren pH-Wert im Vergleich zu den anderen drei Varianten.

Tabelle 29: Analysewerte der Gärsäuren der silierten Maisproben (eigene Darstellung)

| Gärsäuren | | siliert | | | |
|-------------|------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | M-solo | M-Stabo | M-Soblu | M-Sorg |
| pH-Wert | | 4,0 ^a ± 0,0 | 4,0 ^a ± 0,0 | 4,1 ^a ± 0,1 | 3,9 ^b ± 0,0 |
| Milchsäure | % TS | 4,0 ± 0,6 | 4,4 ± 1,0 | 5,2 ± 0,7 | 4,0 ± 0,4 |
| Essigsäure | % TS | 1,0 ± 0,2 | 0,8 ± 0,2 | 0,9 ± 0,2 | 0,9 ± 0,2 |
| Buttersäure | % TS | 0,1 ± 0,0 | 0,0 ± 0,0 | 0,0 ± 0,0 | 0,1 ± 0,1 |

Bei der Analyse der **Biogas- und Methanausbeuten** (l/kg oTS), welche in Tabelle 30 zu sehen sind, ergaben sich keine signifikanten Unterschiede unter den Varianten. Tendenziell erreichten die Varianten M-Soblu und M-Sorg die geringsten Ausbeuten unter den vier Varianten. Signifikanten Unterschiede zeigten sich in den Biogas- und Methanerträgen (m³/t FM). Die Variante M-Soblu unterschied sich dabei beim Biogasertrag mit einer Differenz von über 40 m³/t FM signifikant zu Variante M-solo. Die Gemengevarianten zeigten keine signifikanten Unterschiede untereinander. Bezugnehmend auf den Methanertrag erwies sich die Variante M-solo am ertragsstärksten mit 137,1 m³/t FM. Sie unterschied sich damit signifikant zu Variante M-Soblu, welche den geringsten Methanertrag unter allen Varianten aufwies.

Tabelle 30: Analysewerte der Biogas- und Methanerträge sowie Biogas- und Methausbeuten der silierten Maisproben (eigene Darstellung)

| Biogasausbeute | | siliert | | | |
|----------------|----------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | | M-solo | M-Stabo | M-Soblu | M-Sorg |
| Biogas | l/kg oTS* | 694,8 ± 1,6 | 691,7 ± 6,7 | 675,4 ± 16,5 | 671,7 ± 6,8 |
| Biogas | m ³ /t FM | 261,1 ^a ± 9,3 | 230,7 ^{ab} ± 14,6 | 220,0 ^b ± 20,2 | 247,9 ^{ab} ± 5,9 |
| Methan | l/kg oTS* | 364,8 ± 0,9 | 363,1 ± 3,5 | 354,6 ± 8,7 | 352,6 ± 3,6 |
| Methan | m ³ /t FM | 137,1 ^a ± 4,9 | 121,1 ^{ab} ± 7,7 | 115,5 ^b ± 10,5 | 130,2 ^{ab} ± 3,1 |

*organische Trockensubstanz

5.6 Futteranalysen – Vergleich innerhalb der Varianten

Um den Einfluss des Gemengepartners zu verdeutlichen, wurden innerhalb jeder Variante zusätzlich Proben der Kultur Mais entnommen und zur Analyse ins Labor gegeben. Dabei wurden die Werte für Rohasche, Rohprotein, Rohfaser, Stärke, Rohfett, ELOS und NEL sowie die Faserfraktionen und der DCAB untersucht. Da zu jeder Variante nur ein Analysewert vorlag, konnte keine statistische Auswertung auf Signifikanzen ermittelt werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 31 einzusehen.

Bei der Betrachtung der TS-Gehalte war eine höhere Tendenz in der Variante M-solo mit 39 % im Vergleich zu den Gemengen festzustellen. Die Mais-Proben in den Gemengen zeigten höheren TS-Gehalte, als die Gemenge selbst. Dabei lag die Differenz zwischen Mais und Gemenge zwischen 1% und 3 %. Der Anteil an Rohasche, Rohprotein und Rohfett stieg im Anbau mit den Gemengepartnern. Die Stärkegehalte der Maisproben in den Varianten M-Soblu und M-Sorg waren geringer als die von M-solo und M-Stabo. Mit Gemengepartner verringerte sich der Stärkeanteil in den Varianten M-Soblu und M-Sorg. In Variante M-Stabo stieg der Stärkegehalt im Gemenge. Die Werte der Parameter ELOS und NEL zeigten in der Variante M-Stabo kaum einer Veränderung zwischen der Maisprobe und dem Gemenge. In den Varianten M-Soblu und M-Sorg sank der ELOS-Wert mit dem Gemengepartner.

Bezüglich der Faserfraktionen ließ sich feststellen, dass der ADF-Wert der Maisprobe M-solo im Vergleich zu den Maisproben der Gemenge am geringsten war. Die Varianten M-Stabo und M-Sorg zeigten Verringerungen in den Gemengeproben, während sich in der Variante M-Soblu der ADF-Wert im Vergleich zur reinen Maisprobe erhöhte. Die Ergebnisse der NDF-Untersuchung wiesen auf einen Anstieg mit dem Gemengepartner hin. Der Lignin-Wert (ADL) zeigte nur im Gemenge mit der Sonnenblume erhöhte Ergebnisse, während alle anderen Varianten ähnliche Werte zwischen den Mais- und Gemengeproben aufwiesen.

Bei der Analyse der DCAB-Ergebnisse zeigten sich Ausschläge der Parameter Kalium und Chlorid innerhalb der Variante M-Soblu. Dabei stiegen diese Werte in den Proben mit dem Gemengepartner an. Zwischen den Mais- und Gemengeproben der anderen Varianten konnten keine auffälligen Unterschiede festgestellt werden. Der DCAB-Wert der Variante M-solo lag bei 93,0 meq/kg TS. Die DCAB-Werte von M-Stabo und M-Sorg sanken mit dem Gemengepartner, im Gegensatz zur Variante M-Soblu, bei der dieser Parameter im Gemenge anstieg.

Tabelle 31: Analysewerte der Vollanalyse der frischen Maisproben – Vergleich zwischen Mais und Gemenge innerhalb der Varianten (eigene Darstellung)

| Vollanalyse | M-solo | M-Stabo | | M-Soblu | | M-Sorg | |
|-------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|
| | Mais | Mais | Gemenge | Mais | Gemenge | Mais | Gemenge |
| TS-Gehalt ¹ | 39 | 39 | 36 | 35 | 32 | 38 | 37 |
| Rohasche ² | 31 | 33 | 39 | 31 | 56 | 32 | 35 |
| Rohprotein ² | 66 | 62 | 81 | 63 | 68 | 60 | 68 |
| Rohfaser ² | 168 | 183 | 156 | 184 | 222 | 211 | 214 |
| NDF ² | 361 | 390 | 341 | 403 | 437 | 434 | 455 |
| ADF ² | 206 | 222 | 176 | 226 | 250 | 247 | 237 |
| ADL ² | 19 | 24 | 23 | 24 | 44 | 32 | 36 |
| Stärke ² | 358 | 324 | 387 | 318 | 234 | 267 | 250 |
| Rohfett ² | 30 | 29 | 39 | 27 | 46 | 27 | 31 |
| ELOS ² | 751 | 726 | 728 | 722 | 640 | 695 | 619 |
| NEL ³ | 6,9 | 6,7 | 7,1 | 6,7 | 6,4 | 6,5 | 6,4 |
| Natrium ² | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 | < 0,05 |
| Kalium ² | 7,0 | 8,0 | 8,3 | 7,4 | 13,6 | 8,7 | 7,7 |
| Chlorid ² | 1,3 | 1,1 | 1,4 | 0,9 | 3,5 | 1,4 | 1,5 |
| Schwefel ² | 0,8 | 0,8 | 1,0 | 0,8 | 1,1 | 0,8 | 0,8 |
| DCAB ⁴ | 93,0 | 129,0 | 114,0 | 119,0 | 188,0 | 131,0 | 108,0 |

¹ Einheit: % ² Einheit: g/kg TS ³ Einheit: MJ/kg TS ⁴ meq/kg TS

6 Diskussion

Die vorliegende Arbeit untersucht die Auswirkungen des Anbaus von Mais im Gemenge mit Stangenbohnen, Sonnenblumen und Sorghum hinsichtlich der Bestandesentwicklung, der Erträge, Bodenparameter und Futterqualitäten. Diese Diskussion interpretiert die Ergebnisse im Kontext der vorhandenen Literatur, beleuchtet methodische Überlegungen und erörtert die praktischen Implikationen der Ergebnisse. Darüber hinaus werden die Einschränkungen der Studie diskutiert und Vorschläge für zukünftige Forschungsrichtungen gemacht, um ein umfassendes Verständnis der Potenziale und Herausforderungen des Mischkulturanbaus zu ermöglichen.

6.1 Politische Implikationen

Die GAP-Reform von 2023 forderte die Landwirte unter anderem dazu auf, ihre Fruchtfolgen zu überdenken und den Anteil von Leguminosen zu erhöhen (vgl. Kapitel 2.2). Mit der Einführung der GLÖZ 7 wurden landwirtschaftliche Betriebe dazu aufgefordert, einen jährlichen Fruchtwechsel auf ihren Flächen durchzuführen oder Zwischenfrüchte zwischen gleichen Kulturen anzubauen (MLUK, 2023). Die ÖR 2 regelt den Mindestanteil von Leguminosen in der Fruchtfolge, der mindestens 10 % betragen muss (MLUK, 2024c).

Die GLÖZ 7 stellt insbesondere Milchviehbetriebe mit einem hohen Anteil an Mais in der Ration vor Herausforderungen, da der Anbau von Mais nach Mais nur noch einmal oder mit einer Zwischenfrucht möglich ist. Ab dem dritten Jahr muss ein Fruchtwechsel erfolgen. Mais-Gemenge können dabei als "Sonstige Mischkultur" angegeben werden, die ein zusätzliches Fruchtfolgeglied neben Mais darstellen. In einigen Bundesländern, wie Schleswig-Holstein, sind die Mischungsverhältnisse für eine "Sonstige Mischkultur" klar definiert, wobei ein Anteil von 25 % des Mischungspartner erforderlich ist. In anderen Bundesländern, wie zum Beispiel Brandenburg, wurden bisher keine Mischungsverhältnisse veröffentlicht.

Die ÖR 2 stellt Landwirte vor eine weitere Herausforderung, da nur wenige Betriebe den geforderten Anteil von 10 % Leguminosen erreichen. Milchviehbetriebe können dies durch den Anbau von Luzerne zur Rinderfütterung erzielen. Beim Mais-Stangenbohnen-Gemengeanbau zeigen sich zunächst uneinheitliche und differenzierte Regelungen zwischen den Bundesländern in Deutschland. In einigen Bundesländern wird dieses Gemenge als Leguminose angerechnet, wenn mindestens 25 % Leguminosenanteil in der Mischung vorhanden sind. In anderen Bundesländern müssen „überwiegend“ Leguminosen im Feld stehen, wobei zwar Empfehlungen von 60 % bis 70 % Leguminosenanteil gegeben werden, aber keine klaren Regelungen existieren. Dies führt zu Ungleichheit und Unzufriedenheit unter den Landwirten, da dies mit Förderungen verbunden ist.

Fraglich ist wie lange diese aktuellen Regelungen gelten bzw. wie schnell seitens der Politik oder Länder wieder Anpassungen vorgenommen werden. Erste Berichte weisen auf bevorstehende Änderungen diesbezüglich hin. So sollen nach einem Artikel in der *top agrar* vom 27. Juni 2024 mit dem Titel „Agrarminister einigen sich auf neue Fruchtfolge Regeln in GLÖZ 7“ (AWATER-ESPER, 2024) Mais-Mischkulturen kein eigenständiges Fruchtfolgeglied mehr darstellen. Diese zählen dann allgemein zum Mais. Dies bringt wieder zusätzlichen Unmut unter den Landwirten auf, da keine mittel- oder langfristigen Planungen der Flächenbewirtschaftung erfolgen können. Klare und einheitliche Regelungen zu den Mischungsverhältnissen und Fördermaßnahmen sind seitens der Politik hier erforderlich. Der Gemengeanbau wird sich aufgrund dieser neuen Regelung reduzieren, da seitens der Politik keine Unterstützung zu erwarten ist und das obwohl ökonomische und ökologische Vorteile nachgewiesen sind, welche auch in dieser Arbeit fortführend erläutert werden.

Neben der Einhaltung der neuen GAP sind die Landwirte dazu verpflichtet, ihr Flächenmanagement mithilfe einer mobilen App zu dokumentieren. Dies dient der Überprüfbarkeit und Kontrolle der angegebenen Klima- und Umweltmaßnahmen (BMEL, 2023). Es stellt sich jedoch die Frage, ob die Software in der Lage ist, Mais von Mais-Gemengen zu unterscheiden. Sollte diese Unterscheidung nicht möglich sein, wären Vor-Ort-Kontrollen durch die zuständigen Behörden erforderlich, was für die Landwirte einen erheblichen Arbeits- und Zeitaufwand bedeutet. Die Politik sollte daher den Einsatz und Ausbau intelligenter Systeme vorantreiben, um die Landwirte in diesem Bereich umfassend zu unterstützen.

6.2 Bewertung der botanischen Merkmale und Bestandesentwicklung

Der Vergleich und die Bewertung der botanischen Eigenschaften bezieht sich auf das Wurzelsystem, die Blattform und -stellung sowie die Bestandesentwicklung.

Die Maispflanze besitzt ein tiefes und starkes Wurzelsystem mit zusätzlichen Luft- und Stützwurzeln (DMK, 2024). Die Stangenbohne und das Sorghum besitzen ein ausgeprägtes Feinwurzelsystem (NIEHOFF, 2021; ISIP, 2024). Anders ist es bei der Sonnenblume, die eine tiefgründige Pfahlwurzel bildet, die bis zu 5 m tief reicht (FREUDENBERGER, 2024a). Ein hoher Anteil an Feinwurzeln verbessert das Bodengefüge und die -struktur im Oberboden. Dadurch kann Wasser durch Niederschläge verbessert aufgenommen werden. Eine tiefe Durchwurzelung, wie sie die Sonnenblume bietet, kann Verdichtungen in tiefen Schichten aufbrechen und für eine verbesserte Wasser- und Nährstoffaufnahme sorgen. Belegt wurde dies auch in Versuchen von FERNANDÉZ, et al. (2008). Dort zeigte sich die Sonnenblume im Vergleich mit Mais und Sojabohne als Kultur mit der höchsten Wurzellänge und Wurzelfläche. Der Wurzeldurchmesser war dabei beim Mais am höchsten. Die Stangenbohne ist auf eine

stabile Stützkultur angewiesen (NIEHOFF, 2021). Dank des umfangreichen Wurzelsystems, das aus einer tiefen Pfahlwurzel und stabilisierenden Stützwurzeln besteht (DMK, 2024), kann der Mais den Anforderungen einer Stützkultur gerecht werden. Mit Wuchshöhen von bis zu 2,7 m (DMK, 2024) bietet der Mais der Stangenbohne ausreichend Platz zum Wachsen und Ranken. Die mechanischen Belastungen durch die Zugkräfte der Stangenbohne sollten jedoch nicht unterschätzt werden, da sie das Risiko des Umknickens der Maispflanzen erhöhen können. Als Leguminose kann die Stangenbohne Stickstoff aus der Luft fixieren (NIEHOFF, 2021), was den Stickstoffgehalt im Boden erhöht und den Bedarf an synthetischen Stickstoffdüngern verringert. Es ist jedoch zu beachten, dass Leguminosen nur unter Stickstoffmangel eine Symbiose mit Knöllchenbakterien eingehen (NIEHOFF, 2021). Daher sollte die vorherige Düngestrategie der Fruchtfolge sorgfältig überdacht werden.

Festgehalten werden kann, dass bei Betrachtung der Wurzelsysteme die Sonnenblume durch das tiefreichende Wurzelsystem ein sehr geeigneter Gemeengepartner ist, da ein tiefengelockerter Boden Vorteile für beide Gemeengepartner bietet. Zu Bedenken ist, dass die Sonnenblume dadurch aber auch Wasser- und Nährstoffe aus tiefen Bodenschichten nutzen und sich dadurch sehr schnell entwickeln kann. Dies könnte eine Konkurrenz zum Mais darstellen. Die hohen Feinwurzelanteile bei den Kulturen Stangenbohne und Sorghum ermöglichen es den Oberboden aufzulockern und sich darin befindendes Wasser und Nährstoffe schnell aufzunehmen.

Mais und Sorghum zählen zu den C₄-Pflanzen, was die Produktion von hohen Biomasseerträge unter Trockenheit und hohen Temperaturen ermöglicht (STITT, 2024). Die Kombination dieser Kulturen im Gemenge bringt somit eine Überlegenheit auf leichten Standorten mit wenig Niederschlag.

Mit der Bonitur des Feldversuches wurde die Bestandesentwicklung dokumentiert. Die Stangenbohne und Sonnenblume zeigten dabei runde und breite Blätter, die den Boden gut beschatteten und somit die Unkrautunterdrückung unterstützten (vgl. Anhang 12 – Abbildung 1 und 2). Dieser Aspekt spricht für diese beiden Gemeengepartner. Mais und Sorghum besitzen lange und schmale Blätter, die zu Beginn der Vegetation den Boden weniger beschatteten (vgl. Anhang 12 – Abbildung 3). Dies kann zu einer erhöhten Unkrautdichte und stärkeren Konkurrenz mit Beikräutern führen, was einen Gemengeanbau mit Sorghum negativ bewerten lässt. Zusätzlich konnte bei der Sonnenblume eine sehr zügige Jugendentwicklung festgestellt werden (vgl. Anhang 13 – Abbildung 5). Dies brachte zur Bonitur am 09. Juni 2023 eine mögliche Konkurrenz für den Mais zum Vorschein, da die Sonnenblume sich schneller entwickelte, als der Mais. Begründet werden kann die schnelle Entwicklung durch eine tiefe Wurzel und damit ein schnelles Wasser- und Nährstoffaneignungsvermögen. Wo die Sonnenblume auch schnell ein Längenwachstum zeigte, blieb die Stangenbohne anfänglich

flach am Boden und bestockte stärker (vgl. Anhang 15 – Abbildung 1). Das Sorghum zeigte eine sehr langsame Jugendentwicklung, wobei zur Bonitur am 09. Juni 2023 von einer Unterdrückung durch den Mais ausgegangen werden konnte, da das Sorghum sich kaum sichtbar entwickelte (vgl. Anhang 13 – Abbildung 7). Dies bestätigt die Annahmen nach FREUDENBERGER (2024b) zur langsamen Jugendentwicklung und lässt das Sorghum als Gemeengepartner negativ bewerten. Zur Bonitur am 19. Juni 2023 (vgl. Anhang 15 – Abbildung 2) zeigten sich Fraßschäden durch Rotwild an den Sonnenblumen. Dies führte dazu, dass einige Pflanzen abstarben und nicht weiterwachsen konnten. Da sich die Fraßschäden hauptsächlich in den Rendreihen befanden, hatte dies keinen Einfluss auf die Ertrags- und Qualitätsdaten in den Mittelreihen der Parzellen. Fraglich ist wie groß die Schäden in einem großflächigen Anbau aus Mais und Sonnenblume im Gemenge sind. Schäden durch Tiere konnte auch ROMUNDT (2021) feststellen. Dies bestärkt den Fakt, dass die Sonnenblume für tierische Schäden sehr anfällig ist, was auch für den Mais Nachteile haben kann. Dieser Aspekt lässt sich als negativ bewerten und stellt die Sonnenblume als nicht passenden Gemeengepartner dar. Ab dem 03. Juli 2023 begannen die Stangenbohnen sich am Mais hochzuranken (vgl. Anhang 17 – Abbildung 3). Das Sorghum entwickelte sich nur sehr langsam. Zu diesem Zeitpunkt ging man davon aus, dass das Sorghum vom Mais unterdrückt wird und eine Auswertung dessen nicht möglich sei (vgl. Anhang 17 – Abbildung 7). Die Konkurrenz zwischen Mais und Sonnenblume zeigte sich verstärkt zur Bonitur am 18. Juli 2023 (vgl. Anhang 18 – Abbildung 5 und 6). Die Maispflanzen waren kürzer, als in den anderen Parzellen und zeigten eine hellere Blattfärbung. Die Sonnenblume zeigte die gleiche Wuchslänge wie der Mais, was für eine starke Konkurrenz um Licht spricht, womit das Längenwachstum der Sonnenblume stark angeregt wurde. In den Varianten mit Stangenbohnen und Sorghum zeigte der Mais keine Wachstumsdepressionen. Im weiteren Verlauf der Vegetation (vgl. Anhang 20 – Abbildung 3) erkannte man in den Sonnenblumen Probleme der Standfestigkeit, da diese sich zwischen die Reihen neigten. Begründen lässt sich dies durch die hohe Wuchshöhe. Die ersten Sonnenblumenköpfe verloren ihre Samen und es wurden in dieser Variante auch weitere Schäden durch Rotwild verzeichnet. Das Sorghum zeigte im August ein starkes Längenwachstum und glich damit die mögliche Unterdrückung durch den Mais aus.

Festgehalten werden kann, dass die Sonnenblume eine Konkurrenz durch die starke Jugendentwicklung und das enorme Längenwachstum für den Mais darstellte. Das ausgeprägte und tiefe Wurzelsystem kann Vorteile wie eine Tiefenlockerung mit sich bringen, lässt die Sonnenblume aber durch höhere Verfügbarkeiten von Wasser und Nährstoffen schneller wachsen. Diese Fakten lassen die Sonnenblume als Gemeengepartner zu Mais als nicht passend einstufen. Das starke Feinwurzelsystem des Sorghums und der Stangenbohne können vor Nährstoffauswaschungen schützen. Die Stangenbohne und das Sorghum standen

während der Vegetation in keiner Konkurrenz zum Mais. Das Sorghum entwickelte sich anfänglich sehr langsam und wurde daher vom Mais weit überwachsen. Im späteren Verlauf der Vegetation zeigt das Sorghum ein starkes Längenwachstum, was einer Unterdrückung durch den Mais widerspricht.

6.3 Standortbewertung zur Aussaat

Der Feldversuch wurde auf schwach lehmigen Sand mit einer Ackerzahl von 46 angelegt. Der Boden zählt damit zur Bodengruppe 2, den leichten Standorten, und besitzt neben einer zügigen Erwärmbarkeit ein begrenztes Wasserhaltevermögen (DIEPENBROCK, et al., 2012). In Bezug auf die notwendigen Bodentemperaturen der Kulturen im Feldversuch (vgl. Tabelle 4) ist eine rasche Erwärmung förderlich. Da Sandböden sich durch die großen Poren schnell erwärmen, spricht dies für den Anbau von Kulturen mit hohen Bodentemperaturansprüchen (DIEPENBROCK, et al. (2012). Betrachtet man dazu die Transpirationskoeffizienten der Kulturen in Tabelle 5, ist fraglich, ob dieser Boden für die Kulturen Stangenbohne und Sonnenblume genügend Wasser zur Verfügung stellen kann. Für Mais und Sorghum scheint der gewählte Standort gut, da beide Kulturen einen geringeren Wasseranspruch zeigen. Entscheidend für die Entwicklung von Stangenbohnen und Sonnenblumen sind demnach die Temperaturen und Niederschlagsmengen. Sandige Standorte bieten Kulturen mit einem hohen Feinwurzelanteil, wie der Stangenbohne und dem Sorghum, eine gute Durchwurzelbarkeit.

Sandige leichte Standort bieten für den Anbau von Mais, Stangenbohnen, Sonnenblumen und Sorghum eine gute Grundlage, da sie sich schnell erwärmen. Aufgrund des schlechten Wasserhaltevermögens dieser Böden und des hohen Wasserbedarfs der Sonnenblume und Stangenbohne wird der Anbau bei nicht genügend Niederschlag für diese beiden Kulturen schwierig und ist damit nicht geeignet. Dies bestätigt auch SCHULZ (2022) mit der Annahme, dass die Bohne in trockenen Regionen nicht angebaut werden sollte. Da Mais und Sorghum geringere Wasseransprüche stellen, ist dieser Standort passend.

Bei Betrachtung der Bodenanalysen zur Aussaat lässt sich die Ausgangslage für den Feldversuch beurteilen. Bezugnehmend auf den pH-Wert, welcher zur Aussaat zwischen 6,3 und 6,7 lag, kann der Standort, unter Berücksichtigung der kulturspezifischen Ansprüche in Tabelle 1, als passend bewertet werden. Da bei pH-Werten unter 6 die Phosphorverfügbarkeit und bei pH-Werten über 7 die Verfügbarkeit einiger Mikronährstoffe sinkt (SCHEFFER, et al., 2022), konnte vorerst eine dadurch entstehende Mangelsituation ausgeschlossen werden. In der Bonitur vom 30. Mai 2023 und 09. Juni 2023 zeigten sich allerdings violette Blattfärbungen im Mais und Sorghum. Dies kann ein Symptom für Phosphormangel sein. Da der pH-Wert nach der Analyse keinen Grund dafür darstellt, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass der

Phosphormangel durch zu wenig Wasser entstanden ist (RICHTER, 2005), was auch die geringen Niederschlagsmengen im Mai bestätigen (vgl. Tabelle 21). In Bezug auf den Humusanteil von 3,0 % bis 3,1 % lässt sich der Standort nach THELEMANN, et al. (2024) als mittel humos einstufen, was eine gute Grundlage für die Aktivität der Mikroorganismen darstellt. Hinsichtlich der N_{\min} -Werte in der Tiefe von 0 cm bis 30 cm, welche im Durchschnitt bei 168 kg/ha lagen, konnten unter den Varianten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Die Werte im Boden lagen dabei weit über den Richtwerten nach KAHL (2023), welche zwischen 4 kg/ha und 93 kg/ha lagen. In einer Tiefe von 60 cm bis 90 cm lag der durchschnittliche N_{\min} -Wert bei 40 kg/ha, was auch über den Richtwerten für Brandenburg mit 4 kg/ha bis 36 kg/ha (vgl. Anhang 1) lag. Auch in dieser Tiefe konnten zwischen den Varianten keine Signifikanzen festgestellt werden. Der Boden bot demnach ein hohes Depot an Stickstoff für die Pflanzen. Da Silomais und Sorghum mit 200 kg N/ha einen hohen Bedarf an Stickstoff haben (YARA, 2023a; BFJ, 2024), sind die hohen Werte förderlich. Jedoch ist zu bedenken, dass Stickstoff auswaschungsgefährdet ist (SCHEFFER, et al., 2002), was zu Verlagerungen in tiefere Bodenschichten führen kann. Zusätzlich zeigte sich ein Erschwernis beim Anbau der Stangenbohne, da sie als Leguminose nur unter einer Stickstoffmangelsituation eine Symbiose eingeht (NIEHOFF, 2021). Es entstand daher das Risiko, dass bei hohen N_{\min} -Werten keine Symbiose und damit Stickstofffixierung entsteht.

Die Analyse der pflanzenverfügbaren Mengen an Phosphor, Kalium und Magnesium lassen nach SCHIMPF, et al. (2020) auf die Gehaltsklasse E schließen unter Ausschluss von signifikanten Unterschieden unter den Varianten. Damit gilt der Nährstoffgehalt als sehr hoch und eine Düngebedürftigkeit wird vollständig ausgeschlossen, da keine ertragsrelevanten Auswirkungen zu erwarten sind (SCHIMPF, et al., 2020). Im Kontext mit dem kulturspezifischen Bedarf an Phosphor, Kalium und Magnesium in Tabelle 6 sind zur Aussaat des Feldversuches keine Nährstoffmangelsymptome zu erwarten. Fraglich war zum Zeitpunkt der Aussaat, in wie weit die Pflanzen eine Konkurrenz untereinander um Nährstoffe darstellen.

6.4 Bewertung der Aussaat

Die Aussaat erfolgte mit einer speziellen Sätechnik für Versuchswesen der Firma *BioChem agrar GmbH*. Dabei sind keine großen Saattanks an der Maschine befestigt und das Saatgut wird parzellenweise eingewogen (vgl. Anhang 11 – Abbildung 1). Bei Betrachtung der Abbildung 2 sind die verschiedenen Korngrößen und -formen ersichtlich. In Kombination mit dem Tausendkorngewichten in Tabelle 3 lässt sich ableiten, dass die Stangenbohne einen passenden Gemeengepartner darstellt, da sowohl TKG als auch die Kornform sich mit denen des Maises ähneln. Damit ist eine gemeinsame Aussaat möglich. Die Samen der Sonnenblume sind leichter, als der Mais, was in Saattanks eine Entmischung hervorrufen

könnte. Ebenfalls problematisch scheint die spitze Form der Sonnenblumensamen. Diese können sich somit leicht in den Lochscheiben der Sämaschine verklemmen, was zu Doppelbelegungen führen kann. Ebenso scheint eine Ansaugung dieser Samen durch ihre Form schwieriger, da Luft an den Löchern der Lochscheibe entweichen und somit das Korn nicht gehalten werden kann. Somit kommt es zu Fehlstellen im Bestand. Bei der gemeinsamen Aussaat von Mais und Sonnenblumen ist auf die Lochgröße der Lochscheibe zu achten. Eine gemeinsame Aussaat des Gemenges schafft nach SCHULZ (2022) ein frühes Blühangebot und erspart eine weitere Überfahrt und damit einhergehende Verdichtungen. Das Sorghumsaatgut ist um ein Vielfaches kleiner und leichter, als Mais. Eine gemeinsame Aussaat scheint mit einem fertigen Gemisch nicht möglich. Alternativ können Mais und Sorghum in wechselnden Reihen angebaut werden, somit kann das Säaggregat an die Kultur angepasst werden. Eine weitere Möglichkeit ist eine zeitlich versetzte Aussaat. Demnach legt man zuerst den Mais und anschließend zwischen die Maisreihen das Sorghum. Das Sorghum könnte auch mithilfe eines Düngerstreuers ausgebracht werden. Nach der Aussaat kann es dann eingestriegelt werden.

Zum Zeitpunkt der Aussaat am 09. Mai 2023 wurde eine Bodentemperatur von 11,1 °C gemessen. Da die Wettervorhersage weiterhin steigende Temperaturen voraussagte, war dieser Termin als passend einzuschätzen, vor allem vor dem Hintergrund, dass die Stangenbohne (MEINE ERNTE, 2023) und das Sorghum (LIEBEGG, 2022a) mindestens 12 °C benötigen (vgl. Tabelle 4). Mais-Sonnenblumen-Gemenge können auch schon ab 8 °C Bodentemperatur gesät werden. Daraus lässt sich schließen, dass das Mais-Sonnenblumen-Gemenge schon zu Beginn der Maissaussaat gelegt werden kann, wohingegen das Gemenge mit Stangenbohne und Sorghum später, gegen Ende der Maissaussaat, gelegt werden sollte. In Hinblick auf die Saattiefe ist eine gemeinsame Aussaat mit einem fertigen Gemisch beim Mais-Sorghum-Gemenge schwierig, da das Sorghum nach LIEBEGG (2022a) flacher abgelegt wird, als der Mais. Ähnliches gilt für ein Gemenge mit der Sonnenblume. Da die Stangenbohne in der gleichen Tiefe abgelegt wird, wie Mais, sind seitens der Aussaat dieses Gemenges keine Probleme zu erwarten.

6.5 Bewertung der klimatischen Bedingungen und Pflege des Feldversuches

Im Feldversuchsjahr 2023 wurden die jährlichen und monatlichen Durchschnittstemperaturen und Niederschläge zwischen 2012 und 2022 dokumentiert (vgl. Tabelle 19 und 20). Das Jahr 2023 lässt sich mit 568,5 l/m² als niederschlagreich einstufen, da im Vergleich dazu nur 2 der letzten 10 Jahre eine jährliche Niederschlagssumme von über 500 l/m² zeigten. Entscheidend ist jedoch die Niederschlagsverteilung. Der Mai erwies sich als sehr trocken mit 0,9 l/m² ab dem Tag der Aussaat, was zu einer Phosphormangelsituation führte. Aufgrund dessen wurde entschieden die Parzellen mit je 10 l Wasser zu bewässern. Der einsetzende Regen im Juni

mit einer Summe von 109,2 l/m² sorgte für Entspannung und eine schnelle Jugendentwicklung der Kulturen. Zur Blüte des Mais im Juli konnten 40,5 l/m² verzeichnet werden, was die Befruchtung der Maispflanzen förderte (DMK, 2023a). Auch die Sonnenblumen profitierten von dem Regen, was sie in ihrem Längenwachstum zeigten, da die Pflanzen genauso groß waren wie die Maispflanzen (vgl. Anhang 17). Die vergleichsweise hohe Niederschlagssumme im August begünstigte die Kolben- bzw. Kornausbildung der Maispflanzen. Auch die Blüte der Stangenbohne, welche sich zur Bonitur am 14. August 2023 zeigte, wurde damit positiv beeinflusst. Gleiches gilt für die Sonnenblume. Die hohen Temperaturen kombiniert mit viel Niederschlag unterstützten auch das Wachstum des Sorghums im August.

Die Stangenbohne und Sonnenblume benötigen mehr Wasser, als Silomais und Sorghum (vgl. Tabelle 5). Da der Boden durch seinen hohen Sandanteil kein gutes Wasserspeichervermögen zeigt, sind die hohen Niederschlagssummen für die Stangenbohne und Sonnenblume positiv zu bewerten. Die Sonnenblume hätte bei anhaltender Dürre oder weniger Niederschlag durch ihr tiefes Wurzelsystem auch aus tiefen Bodenschichten Wasser ziehen können, was für die Stangenbohne mit dem ausgeprägten Feinwurzelsystem schwerer gewesen wäre. Bei weniger Niederschlag wäre die Stangenbohne unter hohen Temperaturen, dem leichten Boden und damit verbundenen hohen Verdunstung wahrscheinlich eingegangen.

Festgehalten werden kann, dass das Jahr 2023 hinsichtlich der klimatischen Parameter Temperatur und Niederschlag gute Bedingungen für den Mais-Gemengeanbau lieferte. Der Mai war sehr trocken, allerdings konnten die hohen Niederschläge in den Folgemonaten den Wassermangel ausgleichen und eine gute Entwicklung der Pflanzen hervorrufen. Hohe Erträge und gute Qualitäten konnten zu diesem Zeitpunkt erwartet werden. Bei Betrachtung der Standort- und Klimaansprüche sowie der Gegebenheiten im Jahr 2023, lässt sich ableiten, dass der erfolgreiche Anbau von Mais im Gemenge auf eine gute Niederschlagsverteilung und ein gutes Wasserhaltevermögen des Bodens angewiesen ist. Das schlechte Wasserhaltevermögen des leichten Bodens ist auch in Anhang 10, den Bodenfeuchteprofilen während der Vegetation, einsehbar. Darin ist zu erkennen, dass über den gesamten Vegetationszeitraum die nutzbare Feldkapazität nie über 60 % lag. In trockenen Jahren, mit weniger als 500 l/m² Regen, kann es zu einem stärkeren Konkurrenzverhalten zwischen den Gemengepartnern kommen, was die Erträge und die Futterqualitäten maßgeblich negativ beeinflusst. Lehmige Böden mit einer Ackerzahl von über 40 sind aufgrund des verbesserten Wasserspeichervermögens zu bevorzugen oder der Anbau unter Beregnung. Der Anbau vom Mais-Sonnenblumen-Gemenge nimmt eine besondere Stellung hierbei ein, da trotz des niederschlagreichen Jahres 2023 ein hoher Konkurrenzdruck ersichtlich war.

Die Pflege des Versuches beschränkte sich auf zwei Maßnahmen: die chemische Herbizidmaßnahme und die Beikrautregulierung der Hand. Aufgrund dessen, dass am

30. Mai 2023 händisch das Beikraut entfernt werden musste, wird die Wirkung der chemischen Herbizidmaßnahme im Voraufbau in Frage gestellt. Beim Vergleich der zugelassenen Herbizide der vier Kulturen in Anhang 5, 6, 7 und 8, zeigt sich, dass die chemische Variante sich auf die Mittel *Stomp Aqua* und *Spectrum* konzentriert. Im Sorghum wäre auch noch das Mittel *Arrat* möglich, *Gardo Gold* ist nicht mehr zugelassen. Die Aufwandmenge bemisst sich an dem Gemengepartner mit der geringsten Aufwandmenge. Die begrenzt verfügbaren Wirkstoffe und Mittel, sowie die potentiell hohe Unkrautdichte, welche in Tabelle 23 aufgeführt wurde, lassen darauf schließen, dass in der Praxis und im großflächigen Anbau von Mais-Gemengen eine mechanische Beikrautregulierungsmaßnahmen notwendig ist. In den Kulturen Mais, Stangenbohne, Sonnenblume und Sorghum ist eine Möglichkeit das Hacken zwischen den Reihen. Das Striegeln kann beim Sorghum problematisch werden, da das Korn sehr leicht ist und flach abgelegt wird und damit von seiner ursprünglichen Ablageposition verlagert werden kann. Das Hacken und Striegeln werden, auf Grundlage der Erfahrungen aus dieser Arbeit, als unumgänglich angesehen.

Eine weitere Möglichkeit bietet der Anbau von cycloxydim-resistenten Maissorten. Dies bietet die Chance auf eine chemische Nachaufbaubehandlung gegen Beikräuter in Mais-Stangenbohnen- und Mais-Sonnenblumen-Gemengen. Spätverunkrautungen mit Hirsen können damit behandelt und die mechanische Bekämpfung eingespart werden. Bei der Recherche konnten die sogenannten *Duo*-Sorten nur bei dem Saatgutunternehmen *RAGT* gefunden werden. Dies spricht für eine geringe Verfügbarkeit solcher Sorten. Resistenten Sorten lässt sich meistens eine Ertragsminderung nachweisen. Das könnte ein Grund dafür sein, dass die Züchter diese Sorten nicht weiterverfolgen und anbieten.

Hinsichtlich der Beizen ist nicht vorhersehbar wie sich die Zulassungssituation verändert. Die Beize *Redigo M* ist in den nächsten Jahren für Mais und Sorghum weiterhin verfügbar. Da die Beize einen fungiziden Schutz bietet, ist ein Wegfall negativ zu bewerten, weil dadurch der Feldaufgang und weiterführend die Erträge und Qualitäten stark beeinflusst werden.

6.6 Bewertung der Bodenanalyseergebnisse zur Ernte

Die Differenz der N_{\min} -Werte (0 cm - 30 cm) zwischen der Aussaat und Ernte liegen durchschnittlich über alle Varianten bei 150,4 kg/ha und in der Tiefe von 60 cm bis 90 cm bei durchschnittlich 36,3 kg/ha. Unter den Varianten konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Nach SCHULZ (2022) besteht die Vermutung, dass beim Anbau von Mais mit einem Gemengepartner der Nitratgehalt zur Ernte geringer sein sollte, als beim solo angebauten Mais. Die N_{\min} -Werte in 60 cm bis 90 cm Tiefe bestätigen diese Aussage,

allerdings nicht die N_{\min} -Werte in 0 cm bis 30 cm Tiefe, weil da die Differenz zwischen Aussaat und Ernte beim solo angebauten Mais höher war, als in den Gemengevarianten.

Bei Betrachtung des Nährstoffbedarfs der vier Kulturen im Versuch (vgl. Tabelle 6) zeigt sich der höchste Stickstoffbedarf mit 200 kg N/ha in den Kulturen Mais und Sorghum. Die Stangenbohne und Sonnenblume benötigen nur circa die Hälfte (100 kg – 120 kg N/ha). Bei Betrachtung der Differenz zwischen Aussaat und Ernte zeigten die Varianten M-solo und M-Sorg die höchsten Differenzen und bestätigten damit den hohen Bedarf. Der hohe N_{\min} -Gehalt im Oberboden lässt auf eine anfänglich gute Stickstoffversorgung der Kulturen schließen. Zu bedenken ist hierbei, dass nach NIEHOFF (2021) die Stangenbohne als Leguminose nur eine Rhizobien-Symbiose eingeht, wenn eine Stickstoffmangelsituation vorliegt. Gibt es keine signifikanten Unterschiede der N_{\min} -Werte, kann nach NIEHOFF (2021) davon ausgegangen werden, dass keine Mangelsituation vorliegt und damit keine Symbiose eingegangen wurde. Da der Feldversuch keine signifikanten Unterschiede aufzeigte, kann davon ausgegangen werden, dass der hohe Stickstoffgehalt im Boden eine Symbiose und damit die Stickstofffixierung verhinderte. Die Vermutung zur Aussaat wird damit bestätigt.

Die Auswertung des pH-Wertes zeigt einen Mittelwert von 6,6 zur Aussaat und 6,8 zur Ernte. Die Variante M-Sorg erzielte den höchsten pH-Wert von 6,7. Über die Vegetation konnte mit den Ergebnissen zur Ernte ein leichter Anstieg auf durchschnittlich 6,8 nachgewiesen werden. Nach SCHMIES (2021) ist die Nährstoffverfügbarkeit und das Pflanzenwachstum bei pH-Werten zwischen 6,3 und 6,8 am höchsten. Zur Ernte wurde im Versuch dabei diese Obergrenze erreicht. Fraglich ist, wann der pH-Anstieg zustande kam, da mit steigendem pH-Wert die Pflanzenverfügbarkeit von Mikronährstoffen wie Mangan, Zink Kupfer und Bor sinkt. Allerdings wurden, außer in der Variante M-Soblu, keine Wachstumsdepressionen der Kulturen in den Varianten bonitiert, weshalb negative Einflüsse durch den pH-Wert ausgeschlossen werden können.

Über die Vegetation sank der Gehalt an pflanzenverfügbaren Phosphor im Mittel über alle Varianten von durchschnittlich 12,1 mg P/100 g Boden auf 10,7 mg P/100 g Boden. Die Sonnenblume und das Sorghum haben mit 65 kg bis 70 kg P/ha den höchsten Bedarf und Silomais und Stangenbohne mit 30 kg bis 45 kg P/ha den geringsten (YARA, 2023a; YARA, 2023b; YARA, 2023c; WEINHAPPEL, et al., 2020a). Der hohe Bedarf zeigt sich auch in der Differenz der Phosphorwerte zwischen Aussaat und Ernte, da die Werte der Varianten M-Soblu und M-Sorg mit 1,9 mg P/100 g Boden die höchste Differenz aufgezeigt haben. Im Vergleich dazu haben sich die Varianten M-solo und M-Stabo nur um 0,5 mg bis 1,0 mg P/100 g Boden verringert. Zur Bonitur konnte im Sorghum eine violette Blattfärbung dokumentiert werden. Dies ist auf einen möglichen Phosphormangel zurückzuführen. Da es im Mai sehr trocken war und die Aufnahme von Phosphor nach RICHTER (2005) stark vom Wasser

abhängig ist, kann hier eine Mangelsituation eingetreten sein. Mit Zunahme der Niederschläge im Juni verwuchs sich die Blattverfärbung. Ein negativer Einfluss dessen auf den Ertrag oder die verschlechterte Fruchtbildung des Sorghums konnten nicht festgestellt werden.

In Hinblick auf die Ergebnisse des Kaliumgehaltes in Tabelle 24 ist festzuhalten, dass sowohl zur Aussaat, als auch zur Ernte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten ermittelt wurden. Im Mittel erreichte der Kaliumgehalt zur Aussaat einen Wert von 23,3 mg K/100 g Boden. Zur Ernte sank der Kaliumgehalt in allen Varianten auf durchschnittlich 15,8 mg K/100 g Boden. Da der Kaliumbedarf (vgl. Tabelle 6) in allen vier Kulturen zwischen 100 kg/ha und 200 kg/ha liegt, ist ein hoher Gehalt im Boden förderlich. Vor allem die Sonnenblume und das Sorghum haben nach YARA (2023c) und WEINHAPPEL et al. (2020a) mit 175 kg/ha bis 200 kg/ha einen sehr hohen Bedarf. Der hohe Bedarf zeigt sich auch in der Differenz zwischen den Analysen zur Aussaat und zur Ernte, da diese bei den beiden Gemengevarianten mit 7,7 mg bis 8,6 mg K/100 g Boden höher waren, als beim Mais und der Stangenbohne (6,4 mg bis 7,3 mg K/100 g Boden). Die Sonnenblume hat nach YARA (2023c) einen höheren Bedarf an Kalium, als Mais. Durch die tiefe Pfahlwurzel und die schnelle Jugendentwicklung, welche in den Bonituren beobachtet wurde, entzieht die Sonnenblume dem Boden die Nährstoffe bevor die Maispflanze diesen aufnehmen konnte. In Folge dessen kann es zu Ertrags- und Futterqualitätseinbußen kommen.

Die Ergebnisse des Magnesiumanteils zeigte zur Aussaat im Mittel über alle Varianten einen Wert von 9,3 mg Mg/100 g Boden. Über die Vegetation sank der Wert über alle Varianten auf durchschnittlich 7,9 mg Mg/100 g Boden. Die geringste Differenz zwischen Aussaat und Ernte entstand dabei in Variante M-Stabo. Dies gleicht sich mit dem niedrigen Nährstoffbedarf in Tabelle 6. Die Differenzen der Varianten M-solo und M-Soblu waren mit 1,4 mg Mg/ 100 g Boden auf einem gleichen Niveau. Auch der Magnesiumbedarf von Mais und Sonnenblume zeigt einen ähnlichen Trend (YARA, 2023a; YARA, 2023c). Die höchste Differenz der Analysewerte zeigt sich in der Variante M-Sorg mit 1,9 mg Mg/100 g Boden, allerdings ist der Bedarf nach WEINHAPPEL, et al. (2020a) im Vergleich der vier Kulturen am niedrigsten.

In Hinblick auf den Humusgehalt wurde zur Aussaat im Mittel über alle Varianten ein Ergebnis von 3,0 % erzielt. Über die Vegetation stieg der Humusanteil auf durchschnittlich 4,0 % an. Dabei zeigt die Analyse den höchsten Anstieg in der Variante M-Stabo und den niedrigsten in der Variante M-Soblu. In Hinblick darauf, dass Humus den Mikroorganismen im Boden als Energiequelle dient und diese für die Mineralisierung und Nährstofffreisetzung verantwortlich sind, ist ein Anstieg des Humusgehaltes positiv zu bewerten. Der hohe Humusgehalt im Boden des Mais-Stangenbohnen-Gemenges lässt darauf schließen, dass der Gemengepartner Stangenbohne den Humusaufbau und damit die Mineralisierung und Nährstofffreisetzung

fördert. In der Variante M-Soblu wurde die geringste Steigerung des Humusgehaltes im Boden zwischen Aussaat und Ernte festgestellt, demnach hat der Gemengepartner Sonnenblume einen weniger starken Einfluss auf den Humusgehalt und die damit verbundenen Bodenreaktionen. Da Humus auch Kationen, wie Magnesium und Kalium, und Anionen, wie Phosphat und Nitrat, austauschbar binden kann (LFL, 2023), trägt eine erhöhte Humuskonzentration, wie in Variante M-Stabo, der Nährstoffverfügbarkeit und dem Schutz vor Auswaschung bei. In den Bodenanalysen zur Ernte (vgl. Tabelle 24) zeigte das Gemenge mit Stangenbohnen auch die höchsten Magnesium- und Kaliumwerte, was diese Annahme und den Effekt bestätigt. Andersherum wurden in Variante M-Soblu zur Ernte (vgl. Tabelle 24) neben den geringsten Humusgehalten auch die niedrigsten Ergebnisse hinsichtlich des Phosphors, Kaliums und Magnesiums erzielt. Der Boden des Mais-Sonnenblumen-Gemenges kann durch den niedrigeren Humusgehalt demnach bestimmte Kationen und Anionen weniger stark festhalten und vor Auswaschungen schützen, als es das Mais-Stangenbohnen-Gemenge tut.

6.7 Bewertung der Erträge

Die Ertragserfassung setzt sich aus den folgenden Daten zusammen: Pflanzenlänge der Maispflanzen, Frisch- und Trockenmasseerträge der Gemenge und Gemengekomponenten, Kolbengewichte und Kolben-Restpflanzen-Verhältnis.

Die Ergebnisse der **Pflanzenlängen** in Abbildung 6 zeigen, dass im Mittel über alle Varianten eine Pflanzenlänge der Maispflanze von 204,1 cm erfasst wurde. Die signifikant kürzesten Maispflanzen wurden in der Variante M-Soblu mit einem Mittelwert von 195,0 cm gemessen. In den Boniturbildern ab dem 03. Juli 2023 (vgl. Anhang 17 – Abbildung 6) ist eine Wachstumsdepression des Maises in der Variante M-Soblu zu erkennen, die dieses Ergebnis unterstützt. Zurückzuführen ist dies auf ein verstärktes Konkurrenzverhalten zwischen Mais und Sonnenblume. Möglich ist hierbei, dass die Sonnenblume viel Wasser und Nährstoffe dem Boden entzogen hat, die dann dem Mais nur in geringen Mengen zur Verfügung standen. Das schnellere Nährstoffaneignungsvermögen kann auch auf das stärkere Wurzelsystem der Sonnenblume nach FERNÁNDEZ, et al. (2008) zurückgeführt werden. Da die Sonnenblume im Vergleich zum Mais einen höheren Phosphor- und Kaliumbedarf hat (vgl. Tabelle 6), kann es hier auch zu einer Mangelsituation für den Mais gekommen sein. In den Boniturbildern (vgl. Anhang 19 – Abbildung 1) ist ebenfalls ersichtlich, dass der Mais in dieser Variante eine hellere Blatffärbung aufwies, als in den Nachbarparzellen und den anderen Varianten. Dies kann nach DOLESCHEL (2014) durch eine verminderte Fotosynthesefunktion begründet werden, für die auch ein Kaliummangel die Ursache sein kann. Ein weiterer Grund für die Blattaufhellungen kann ein Stickstoffmangel sein. Möglicherweise konnte die Sonnenblume

das Wurzelsystem schneller ausbilden und somit zügiger Stickstoff aufnehmen. Bei Betrachtung der Pflanzenlängen zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten M-solo und M-Stabo. Im Mittel erreichten die Maispflanzen dieser beiden Varianten eine Pflanzenlänge von 209,0 cm bzw. 210,0 cm. Auch die Streuung der Werte befand sich auf einem ähnlichen Niveau, da der Minimal- und Maximalwert jeweils nur 1,0 cm auseinanderlag. Es zeigte sich demnach kein Konkurrenzverhalten zwischen Mais und Stangenbohne, welches auch nicht in den Bonituren zu finden war. Die Variante M-Sorg nimmt in dieser Auswertung eine Mittelposition ein. Die Maispflanzen waren länger, als in der Variante M-Soblu, aber kürzer, als in den Varianten M-solo und M-Stabo. Der Gemengepartner Sorghum verursachte allerdings eine breitere Streuung der Messwerte, ähnlich wie in der Variante M-Soblu. Die Varianten M-Soblu und M-Sorg zeigten keinen signifikanten Unterschied untereinander.

Mit Blick auf die **Erträge** in Abbildung 7 lässt sich erkennen, dass mit dem Anbau eines Gemengepartners ein signifikant höherer Frischmasseertrag erreicht werden konnte. Begründen lässt sich diese durch die erhöhte Bestandesdichte von 80.000 Pflanzen/ha beim solo angebauten Mais auf 120.000 Pflanzen/ha im Gemenge mit Stangenbohne, Sonnenblume und Sorghum. Innerhalb der Maiserträge der Varianten M-solo, M-Stabo und M-Sorg konnten keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden. Dennoch lag der reine Maisertrag in der Variante mit Stangenbohnen unter der Variante des solo angebauten Mais. In der Variante M-Sorg konnte ein höherer Maisertrag, als in M-solo ermittelt werden. Der Ertrag der Gemengekomponente Mais war mit 357 dt/ha in der Variante M-Soblu signifikant geringer, als in den drei anderen Varianten. Somit wird auch hier die erhöhte Konkurrenz zwischen Mais und Sonnenblume bestätigt. Bei Betrachtung der Trockenmasseerträge in Abbildung 7 zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen den Varianten. So befanden sich die Erträge der Varianten M-Stabo und M-Sorg auf einem Niveau, und ebenso die Varianten M-solo und M-Soblu. Die Gemenge mit Stangenbohne (203 dt TM/ha) und Sorghum (287 dt TM/ha) erzielten damit signifikant höhere Trockenmasseerträge, als die Varianten M-solo (199 dt TM/ha) und M-Soblu (203 dt TM/ha). Nach SCHULZ (2022) erreichten Maisversuche mit den Gemengepartnern Stangenbohne und Sonnenblume geringere Trockenmasseerträge, als der solo angebaute Mais. Dabei wurden im Mais-Stangenbohnen-Gemenge circa 150 dt TM/ha und im Mais-Sonnenblumen-Gemenge rund 140 dt TM/ha erzielt. Diese Ergebnisse konnten im Feldversuch dieser Arbeit nicht bestätigt werden, da hier sowohl das Gemenge mit Stangenbohnen, als auch das Gemenge mit Sonnenblumen höhere Trockenmasseerträge erreichten, als der solo angebaute Mais. Auch nach LEISER (2021) erreicht das Mais-Stangenbohnen-Gemenge nur 89-96 % des Trockenmasseertrages vom reinen Mais (22 t TM/ha). Umgerechnet sind das zwischen 19,58 t TM/ha und 21,12 t TM/ha. Im Versuch konnten ähnliche Werte beim solo angebauten

Mais mit umgerechnet rund 20 t TM/ha erreicht werden. Der Trockenmasseertrag des Mais-Stangenbohnen-Gemenges lag im Feldversuch allerdings um 34,17 % höher im Vergleich zur Variante M-solo. Damit unterscheiden sich die Ergebnisse zu LEISER (2021), wo geringere Trockenmasseerträge im Gemenge erzielt wurden. Nach LEISER (2021) erreicht das Mais-Stangenbohnen-Gemenge ca. 10 % höhere Frischmasseerträge. Im Feldversuch dieser Arbeit wurde eine Ertragssteigerung um 43,36 % ermittelt. Diese ist somit höher, als die in den Versuchen von LEISER (2021). Begründet werden kann dies durch die sehr guten Wachstumsbedingungen, vor allem der viele und gute verteilte Niederschlag im Versuchsjahr 2023, der die Ertragsbildung der Maispflanze begünstigte. Nach LEISER (2021) waren die Trockenmasseerträge des Bohnen-Gemenges niedriger, die Frischmasseerträge jedoch höher, als beim solo angebauten Mais. Begründen lässt sich dies zum einen am Trockensubstanzgehalt, der im Bohnen-Gemenge wahrscheinlich wesentlich niedriger war, als beim solo angebauten Mais. Ähnliche Annahmen trifft auch ROMUNDT (2021). Auch hier wurden, ähnlich wie bei LEISER (2021), im Stangenbohnen- und Sonnenblumen-Gemenge niedrigere Trockenmasseerträge erreicht, als beim reinen Maisanbau. Dabei erzielte das Stangenbohnen-Gemenge ca. 99 % und das Sonnenblumen-Gemenge nur 81 % vom solo angebauten Mais. Im Feldversuch dieser Arbeit wurden im Bohnengemenge über 40 % und im Sonnenblumengemenge ca. 2 % Ertragssteigerung erzielt. Somit konnten die Ergebnisse von ROMUNDT (2021) und LEISER (2021) zu den Gemengeergebnissen nicht widerlegt werden.

In Hinblick auf die erfassten **Kolbengewichte** der Maispflanzen in Abbildung 8 wurde über alle Varianten ein durchschnittliches Kolbengewicht von 291,5 g erfasst. Die höchsten Ergebnisse erzielte dabei die Variante M-solo mit 328 g und die niedrigsten die Variante M-Soblu mit 245 g. Die Variante M-Soblu zeigte signifikante Unterschiede zu den anderen drei geprüften Varianten. Auffällig waren die breiten Streuungen der Werte in den Gemengevarianten, welche höher waren, als beim solo angebauten Mais. Diese breiteren Streuungen und auch die geringeren Kolbengewichte in den Gemengen können dadurch begründet werden, dass die Bestandesdichte erhöht war und damit die Einzelpflanze weniger Standraum, als auch Nährstoffe und Wasser zur Verfügung stehen hatte. In zukünftigen Versuchen sollten unterschiedliche Saatstärken und deren Einfluss auf die Erträge, in diesem Fall die Kolbengewichte, untersucht werden. Eine Reduzierung der Saatstärke in den Gemengen oder andere Mischungsverhältnisse sind zu prüfen.

Aus dem Frischmasseertrag und den Kolbengewichten wurde das **Kolben-Restpflanzen-Verhältnis** ermittelt, welches nach SCHUSTER, et al. (2021) bei mindestens 50:50 liegen sollte. Den höchsten Kolbenanteil besaß die Variante M-Soblu mit 54,9 %. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Restpflanze weniger wog, als in den anderen Varianten und damit das Verhältnis zugunsten des Kolbenanteils ausfiel. Nach SCHUSTER, et al. (2021) hat ein geringer

Kolbenanteil einen geringen Stärkegehalt zur Folge. Betrachtet man diesen Fakt, so hätte die Variante M-Soblu die höchsten Stärkegehalte aufweisen müssen. Allerdings zeigte sie die geringsten Stärkegehalte. Der Einfluss der Restpflanze und ihrem Gewicht ist demnach entscheidend für das Kolben-Restpflanzen-Verhältnis. Ein hoher Kolbenanteil spricht daher nicht sofort für hohe Stärkegehalte. Anhand der berechneten Verhältnisse in Tabelle 26 hätten in Variante M-Sorg, mit 43,6 % Kolbenanteil, die geringsten Stärkegehalte nachgewiesen werden müssen, was jedoch nicht der Fall war. Die höchsten Stärkegehalte wurden in Variante M-Stabo, mit einem Kolbenanteil von 49,2 %, analysiert, jedoch zeigte diese Variante nicht den höchsten Kolbenanteil in Tabelle 26.

6.8 Bewertung der Futterqualitäten

Zur Bewertung der Futterqualitäten wurden die Ergebnisse mit Richtwerten des Silomaises verglichen und damit eingestuft, da es keine speziellen Richtwerte für Gemenge gibt.

Bei Betrachtung des **Trockensubstanzgehaltes** (vgl. Tabelle 27) der frisch untersuchten Varianten zeigte sich in den Gemengen eine Abnahme im Vergleich zur Variante M-solo mit 39,0 %. Die größte Differenz von 7,1 % ergab sich zwischen M-solo und M-Soblu (31,9 %). Die TS-Gehalte der Varianten M-Stabo (36,3 %) und M-Sorg (37,4 %) lagen zwischen M-solo und M-Soblu, waren aber dennoch niedriger. In Untersuchungen von SCHULZ (2022) zeigten sich ähnliche Tendenzen. So erreichte da die reine Maisvariante 32 % TS, das Mais-Stangenbohnen-Gemenge 30 % und das Mais-Sonnenblumen-Gemenge 28 %. Die Ergebnisse des Feldversuches dieser Arbeit ähnelten in ihrer Tendenz den Ergebnissen von SCHULZ (2022). Auch GRIMME (2024) bestätigt in Tabelle 14 die Feldversuchsergebnisse. Dabei ähneln sich die Gemenge von Mais mit Stangenbohne und Sorghum, was sich im Feldversuch dieser Arbeit in Tabelle 27 ebenso darstellt. Das Mais-Sonnenblumen-Gemenge zeigt auch nach GRIMME (2024) die geringsten TS-Gehalte. In den silierten Analysen (vgl. Tabelle 28) zeigte die Variante M-solo ebenfalls den höchsten TS-Gehalt mit 38,9 %. Ebenso, wie in der frisch analysierten Beprobung, waren sich die Varianten M-solo und M-Sorg ähnlich. Die Variante M-Soblu zeigte wieder die niedrigsten TS-Gehalte mit 34,1 %. Sowohl in der Analyse des frischen Erntegutes, als auch in der silierten Variante zeigten die Gemenge keine signifikanten Unterschiede untereinander. Zwischen M-solo und M-Soblu bestand immer ein signifikanter Unterschied. Festzuhalten ist, dass die Sonnenblume den TS-Gehalt stark senkte, was durch den dicken Stängel, der einen hohen Wasseranteil besaß, begründet werden kann. Das Sorghum beeinflusste den TS-Gehalt nur wenig, weswegen er sich im Gemenge auch nicht signifikant zum solo angebauten Mais unterschied. Die Stangenbohne verursachte ebenfalls eine Senkung des TS-Gehaltes. Die Erkenntnisse lassen darauf schließen, dass der Erntezeitpunkt in Maisgemengen mit Stangenbohne und

Sonnenblume später zu terminieren ist, als beim solo angebauten Mais oder Mais-Sorghum-Gemengen. Das Erntezeitmanagement sollte durch Laboranalysen unterstützt werden, um den optimalen TS-Gehalt zwischen 28 % und 35 % zu erreichen (JEROCH, et al., 2008; KIRCHGEßNER, 1997).

Die Analysewerte der frischen Proben in Tabelle 27 ergaben, dass der signifikante Unterschied bei der **Rohasche** dem der silierten Analyse entsprach. Somit hebte sich die Variante M-Soblu mit signifikant höheren Rohascheanteilen von den anderen drei Varianten ab. Die Varianten M-solo, M-Stabo und M-Sorg enthielten sowohl in den frischen als auch den silierten Proben zwischen 30 g/kg TS und 40 g/kg TS. Da Rohasche vorwiegend durch Mineralstoffe und Verunreinigungen charakterisiert wird, sollte der Maximalwert von 45 g/kg TS nicht überschritten werden (LKS, 2023; LUFA, 2023; SCHAUMANN, 2023). In Variante M-Soblu wurden 56,3 g/kg TS (frisch) bzw. 44,7 g/kg TS (siliert) analysiert. Somit wurde der Richtwert in der frischen Form überschritten und in der silierten Form nur sehr knapp unterschritten. Ein Überschuss kann nach JEROCH, et al. (2008) den Futterwert und damit die Verdaulichkeit senken. Es kann zu Versandungen der Verdauungsorgane kommen (ULBRICH, et al., 2004). Somit sollte eine Verfütterung von Mais-Sonnenblumen-Gemengen vorab analysiert und durchdacht werden. Ein Grund für die hohen Rohaschegehalte können die behaarten Stängel und Blätter der Sonnenblume sein, wodurch Schmutz stärker und länger haften bleibt. Auf glatten Blatt- und Stängeloberflächen würde Schmutz bei Regen leichter abgespült werden. Dies wird durch die Behaarung bei der Sonnenblume erschwert. Nach den Ergebnissen im Feldversuch ist von einer Verfütterung des Mais-Sonnenblumen-Gemenges an Rinder abzuraten.

JILG, et al. (2021) erkannte erhöhte Rohaschegehalte mit 40 g/kg TS in Mais-Stangenbohnen-Silagen. Der Wert der Silierprobe aus dem Feldversuch mit 33,7 g/kg TS spiegelte dies nicht wider. Der Rohaschegehalt von JILG, et al. (2021) mit 33 g/kg TS in der reinen Maissilage ähnelt dem Wert im Feldversuch (32,7 g/kg TS). Nach MUDHOO (2019) und LUQUE, et al. (2011) senkt ein hoher Rohascheanteil die Methanproduktion in der Biogasanlage. Somit ist der Einsatz vom Mais-Sonnenblumen-Gemenge, mit Rohaschegehalten von über 45 g/kg TS, für die Biogasproduktion nicht empfehlenswert.

Die Ergebnisse der Analysen des **Rohproteingehaltes** im Feldversuch dieser Arbeit zeigten, dass in der frisch beprobten Variante die drei Gemenge höhere Werte erreichten, als der solo angebaute Mais. Das Mais-Stangenbohnen-Gemenge erzielte mit 8,1 % einen um rund 23 % höheren Rohproteinanteil im Vergleich zum reinen Mais. Die Gehalte der Varianten M-Soblu und M-Sorg lagen um circa 3 % über den Ergebnissen der Variante M-solo. Nach LEISER (2021) kann das Mais-Stangenbohnen-Gemenge zwischen 2 % und 12 % mehr Rohproteingehalt erreichen. Im Feldversuch dieser Arbeit wurde dieser Literaturwert

übertroffen. Die Ergebnisse von ROMUNDT (2021) zeigen die höchsten Rohproteingehalte mit 8,8 % im Mais-Sonnenblumen-Gemenge. Dies konnte in dieser Arbeit nicht widerlegt werden. Die Untersuchungen der LFL (2021) analysierten Rohproteingehalte von 6,3 % in der reinen Maisvariante und 7,8 % im Mais-Stangenbohnen-Gemenge (vgl. Tabelle 16). Die entstandene Differenz von 1,8 % gleicht der im Feldversuch dieser Arbeit. Rohproteingehalte aus Mais-Sorghum-Gemengen konnten während der Literaturrecherche nicht gefunden werden. Alle Versuchsvarianten erzielten Rohproteingehalte, welche unter dem Richtwert für Maissilagen (< 90 g/kg TM; 9 %) aus Tabelle 10 liegen. Da kein Überschuss vorliegt, hat die Verfütterung von den Mais-Gemengen keinen negativen Einfluss auf Leber und Nieren (ULBRICH, et al., 2004). Ein Mangel mit einer Richtwertunterschreitung von 70 g/kg TS liegt nur in den frischen Analysen (vgl. Tabelle 27) vor. Die silierten Analysen zeigten Rohproteingehalt von über 70 g/kg TS. Die Verfütterung von frischem Mais, Mais-Sonnenblumen-Gemengen oder Mais-Sorghum-Gemengen kann bei Nichtausgleich in der Ration zu einem Mangel an Rohprotein und damit einer schwachen Immunabwehr und einer eingeschränkten mikrobiellen Proteinsynthese führen (ULBRICH, et al., 2004). Für die Biogasproduktion sind ausgeglichene Proteingehalte gut, um die Nährstoffversorgung der Mikroorganismen zu fördern, womit die Biogasausbeute gesteigert werden kann (WARD, et al. (2008). Nach ANGELIDAKI, et al. (1993) können zu hohe Rohproteingehalte allerdings auch toxisch auf die Mikroben wirken. Zu prüfen ist in wie weit die hohen Gehalte im Mais-Stangenbohnen-Gemenge die Biogasproduktion hemmen und wo dahingehend die Grenzwerte liegen.

Der **Rohproteinерtrag** aus den Tabellen 27 und 28 zeigte zwischen den frischen und silierten Proben eine gleiche Tendenz. Dabei erreichten die Varianten M-solo und M-Soblu ähnliche Werte mit 13,1 dt/ha bis 15,6 dt/ha. Die Varianten M-Stabo und M-Sorg wiesen höhere Werte zwischen 19,4 dt/ha und 21,5 dt/ha auf. Erklären lassen sich die höheren Ergebnisse vor allem an den hohen Trockenmasseerträgen der beiden Varianten (vgl. Abbildung 7). Versuche von LEISER (2021) zeigten im Mais-Stangenbohnen-Gemenge einen Rohproteinерtrag zwischen 15,4 dt/ha und 16,1 dt/ha. Diese Werte liegen unter den Ergebnissen dieser Arbeit. Die Auswertung der LFL (2021) zeigt einen Rohproteinерtrag im Mais von 16,2 dt/ha und im Mais-Stangenbohnen-Gemenge von 15,9 dt/ha. Die Ergebnisse dieser Arbeit lagen im Stangenbohnen-Gemenge deutlich darüber.

Im Feldversuch konnte in der Variante M-solo ein **Rohfasergehalt** von durchschnittlich 164 g/kg TS (Durchschnitt aus frisch und siliert) erzielt werden. Der Richtwert liegt nach LUF A (2023) bei mindestens 170 g/kg TS und nach LUF A (2023) und SCHAUMANN (2023) bei höchstens 200 g/kg TS. Die frischen Proben der Varianten M-solo (167,7 g/kg TS) und M-Stabo (155,7 g/kg TS) unterschritten den Mindestwert von 170 g/kg TS in der Frischmaisanalyse (vgl. Tabelle 27). Die Varianten M-Soblu und M-Sorg überschritten in dieser

Analyse den Höchstwert von 200 g/kg TS um mehr als 14 g/kg TS. In der silierten Beprobung in Tabelle 28 lagen die Varianten M-Stabo mit 178,3 g/kg TS, M-Soblu mit 195,7 g/kg TS und M-Sorg mit 199,7 g/kg TS im optimalen Bereich. Die Variante M-solo lag mit 160,3 g/kg TS wieder unter dem Mindestwert für Maissilagen. Die niedrigeren Rohfasergehalte der Variante M-Stabo lassen sich auf die Stangenbohne zurückführen. Dies lässt sich anhand der Analysen innerhalb der Varianten (vgl. Tabelle 31) nachvollziehen. Ebenso sorgte die Sonnenblume für einen erhöhten Rohfasergehalt im Gemenge, was auf den faserreichen und dicken Stängel der Sonnenblume zurückzuführen ist. Zu Bedenken gilt, dass die Gemenge mit Sonnenblume und Sorghum nah am Maximalwert lagen. Die hohen Rohfasergehalte können nach ULBRICH, et al. (2004) in der Rinderfütterung Pansenalkalosen verursachen. Ein niedriger Rohfasergehalt, wie es sich in der Variante M-solo darstellt, sollte in der Rationsberechnung beachtet werden, da ein Mangel ansonsten Ketosen oder Gebärpausen verursachen kann.

Da sich die Rohfaser in verschiedene **Faserfraktionen** aufteilt (vgl. Abbildung 3), werden diese gesondert betrachtet. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 27 und 28 einzusehen.

Im Bereich der **NDF**-Werte zeigte die Variante M-Sorg das signifikant höchste Ergebnis mit 455,0 g/kg TS in der frischen Probe. Dabei unterscheidet sie sich signifikant zu den Varianten M-solo und M-Stabo, jedoch nicht zu M-Soblu. Den niedrigsten Wert erzielt Variante M-Stabo mit 341,0 g/kg TS, welche sich signifikant zu M-Soblu und M-Sorg, jedoch nicht zu M-solo unterschied. Sowohl in den frischen Analysen, als auch in den silierten Proben erzielte die Variante M-Stabo im Mittel mit 343,5 g/kg TS die niedrigsten und M-Sorg mit durchschnittlich 430,7 g/kg TS die höchsten NDF-Werte. Nach LUFA (2023), LKV BB (2024) und RESCH (2023) liegt der Richtwert für die NDF zwischen 350 g/kg TS und 400 g/kg TS. Die Analyseergebnisse der frischen Proben (vgl. Tabelle 27) zeigten, dass die Varianten M-Soblu und M-Sorg diesen überschritten. M-solo und M-Stabo lagen innerhalb der Spanne. Bei den silierten Ergebnissen in Tabelle 28 überschritt nur die Variante M-Sorg den Maximalwert von 400 g/kg TS. Nach ERTEKIN (2023) erreichte in Versuchen in der Türkei das Mais-Sonnenblumen-Gemenge einen NDF-Wert von 50,91 %, welcher höher ist, als der im Feldversuch (43,7 % frisch, 35,5 % siliert).

In beiden Analysen zeigten die Varianten M-Soblu und M-Sorg die höchsten **ADF**-Werte mit über 215 g/kg TS, allerdings ohne signifikanten Unterschied zu M-solo. Das signifikant niedrigste ADF-Ergebnis erzielte M-Stabo mit 176 g/kg TS in den frisch analysierten Proben. Während die ADF-Werte der Varianten M-solo, M-Soblu und M-Sorg mit der Silierung sanken, erhöhte sich dieser Wert in Variante M-Stabo. In den silierten Analysewerten waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten in den ADF-Werten vorzufinden. Dabei wurden ADF-Werte zwischen 188 g/kg TS und rund 224 g/kg TS erreicht. Vergleichswerte zum ADF-Gehalt konnte nur für reinen Mais und Mais-Sonnenblumen-Gemengen recherchiert werden. Nach ERTEKIN (2023) wurden in Versuchen in der Türkei ADF-Werte von 29,21 % im

Mais-Sonnenblumen-Gemenge und 30,26 % im solo angebauten Mais analysiert werden. Der ADF-Anteil im Feldversuch der Variante M-Soblu lag bei 25,03 % (frisch) bzw. 21,53 % (siliert) und unterschritt die Ergebnisse von ERTEKIN (2023). Der hohe ADF-Gehalt im reinen Mais konnte im Feldversuch mit 20,63 % (frisch) bzw. 18,80 % (siliert) nicht bestätigt werden. Laut dem LKV BB (204) liegt der Richtwert des ADF in Mais zwischen 200 und 230 g/kg TS. In den frischen analysierten Proben unterschritt M-Stabo diesen Richtwert und M-Soblu und M-Sorg überschritten ihn. Die Überschreitung war in Variante M-Soblu jedoch höher, als bei M-Sorg. Lediglich M-solo lag innerhalb der Richtwertspanne des LKV (2024).

In Hinblick auf den **ADL**-Wert erreichte die Variante M-Soblu in den frischen und silierten Analysen die höchsten Ergebnisse mit über 40 g/kg TS. Darauf folgte M-Sorg mit über 30 g/kg TS. Die Variante M-solo zeigte die geringsten ADL-Gehalte mit unter 23,3 g/kg TS. M-Soblu und M-Sorg zeigten keinen signifikanten Unterschied und auch innerhalb von M-solo, M-Stabo und M-Sorg gab es keine signifikanten Unterschiede. Nach ERTEKIN (2023) erreichte in Versuchen in der Türkei das Mais-Sonnenblumen-Gemenge einen ADL-Wert von 3,61 % und der solo angebaute Mais 3,31 %. Die Ergebnisse vom Feldversuch lagen beim reinen Mais unter denen von ERTEKIN (2023) und die ADL-Werte vom Mais-Sonnenblumen-Gemenge über denen. Nach AGRO RESULTS (2024) spiegelt der ADL-Wert den Ligninanteil und damit eine verholzende Faser in der Pflanze dar, die für Wiederkäuer schwer bis gar nicht verdaulich ist. Somit sind die hohen ADL-gehalte in M-Soblu und M-Sorg in der Fütterung zu bedenken. Für die Biogasproduktion stellen hohe Ligningehalte ein Problem dar, da diese durch ihre schwere Verdaulichkeit die Produktion verlangsamen. Nach HERMANN, et al. (2011) sollte ein ADL-Wert unter 30 % angestrebt werden. Die Gemenge mit Sonnenblume und Sorghum überschreiten diesen Wert, womit sie als weniger geeignet für die Biogasproduktion scheinen.

Die Ergebnisse der **Stärkegehalte** sind in den Tabelle 27 und 28 einsehbar. Dabei erreichte die Variante M-Stabo mit 387,3 g/kg TS in der frischen Analyse (Tabelle 27) den höchsten Wert, gefolgt von M-solo mit 358,0 g/kg TS. Die Varianten M-Soblu und M-Sorg erzielten hierbei circa zwischen 234 g/kg TS und 250 g/kg TS. Die Gemengepartner Sonnenblume und Sorghum verdünnten die Silagen bzw. das Futtermittel, da der geringe Kornanteil nicht viel Stärke mitbringt. Hinzukommt die hohe Konkurrenz der Sonnenblume zum Mais, womit die Maispflanze ebenfalls einen geringen Stärkeanteil aufwies (vgl. Tabelle 31). Sowohl in den Analysen der frischen, als auch der silierten Proben hatten die Varianten M-Soblu und M-Sorg die geringsten Stärkeanteile. Untersuchungen der LFL (2024) ergaben im reinen Mais einen höheren Stärkegehalt mit 38,6 %, als im Mais-Stangenbohnen-Gemenge mit 33,8 %. Hier scheint die Konkurrenz zwischen Mais und Stangenbohnen höher gewesen zu sein, als im Feldversuch dieser Arbeit. Die Richtwerte zu Stärkegehalten in Maissilagen in Tabelle 10 zeigen einen Zielwert von mindestens 300 g/kg TS. Innerhalb der frischen Maisproben in

Tabelle 27 überschritten diesen Mindestwert nur die Varianten M-solo und M-Stabo. Das Mais-Sonnenblumen- und Mais-Sorghum-Gemenge lagen unter diesem Wert, womit in der Verfütterung Mangelsymptome bei Rindern, wie eine verminderte Fruchtbarkeit (JEROCH, et al., 2008), auftreten können. Laut dem LKS (2023) darf ein Stärkegehalt von 380 g/kg TS nicht überschritten werden, da die Rinder sonst zu einem gesteigerten Fettansatz neigen können, was zu einer Ketose führen kann (JEROCH, et al., 2008). In den silierten Proben (vgl. Tabelle 28) zeigten die Varianten M-solo und M-Stabo mit 381,0 g/kg TS bis 407,0 g/kg TS einen Überschuss an Stärke. Die Silagen der Varianten M-Soblu und M-Sorg lagen im optimalen Bereich mit rund 327 g/kg TS.

Hohe Stärkegehalte fördern nach WEILAND (2010) die Methanausbeute, da es für die Mikroorganismen leicht abbaubar ist und schnell Energie liefert. Der solo angebaute Mais und das Mais-Stangenbohnen-Gemenge stellen demnach eine gute Substratgrundlage dar. Die Stärkegehalte der Maisgemenge mit Sonnenblume und Sorghum eignen sich weniger gut aufgrund der niedrigen Stärkegehalte. Zu hohe Stärkegehalte von über 600g/kg TM können nach DEMIREL, et al. (2008) jedoch auch die Schaumbildung in der Biogasanlage fördern. Dieser Wert wurde im Feldversuch jedoch nicht überschritten, sodass von negativen Einflüssen nicht ausgegangen werden kann.

Bei Betrachtung des **Stärkeertrages** (vgl. Tabellen 27 und 28) zeigte sich zwischen der frischen und silierten Variante die gleiche Tendenz. Dabei erreichte die Variante M-Stabo die höchsten Ergebnisse mit 101,7 dt/ha (siliert) und 190,0 dt/ha (frisch). Die Variante M-Soblu erzielte die geringsten Stärkeerträge mit 47,6 dt/ha (frisch) und 66,4 dt/ha (siliert). Die Varianten M-solo und M-Sorg wiesen ähnliche Werte auf. Untersuchungen der LFL (2021) erreichten im solo angebauten Mais 99,1 dt/ha und im Stangenbohnen-Gemenge 70,8 dt/ha. Der niedrigere Stärkeertrag im Gemenge nach LFL (2021) bestätigte sich im Feldversuch dieser Arbeit nicht.

In Bezug auf den **Rohfettgehalt** wies die Variante M-Soblu in den frischen und silierten Proben signifikant höhere Werte im Vergleich zu den drei anderen Varianten auf. In der Analyse der frischen Proben lag der Rohfettgehalt dabei bei 45,7 g/kg TS und in der silierten Form bei 53,3 g/kg TS. Innerhalb der frischen und silierten Proben zeigten M-solo, M-Stabo und M-Sorg ähnlich Werte zwischen 27 g/kg TS und 33 g/kg TS. Allerdings zeigte M-Stabo in der Frischanalyse einen etwas höheren Wert von 38,7 g/kg TS. Die Variante M-Soblu überstieg den Richtwert von 40 g/kg TS nach Vorgaben des LKS (2023) und auch die der LUFA (2023) mit 50 g/kg TS. Zu hohe Rohfettgehalte können bei Rindern zu einer verminderten Celluloseverdaulichkeit und Senkung der Milchinhaltstoffe führen. Vor dem Hintergrund, dass der Landwirt für Abweichungen der Milchinhaltstoffe Zu- oder Abschläge auf der Milchgeldabrechnung erhält, sollte auf die Rationszusammensetzung geachtet werden. Für

die Mikroorganismen in der Biogasanlage kann Fett einen Energielieferanten darstellen, allerdings wird dieses auch wesentlich langsamer abgebaut (ANGELIDAKI, et al., 1993; LI, et al., 2011). Rohfettanteile von über 50 g/kg TS, wie es das Mais-Sonnenblumen-Gemenge zeigte, senken die Methanausbeute und damit die Effizienz der Biogasproduktion. Dahingehend erscheint dieses Gemenge als ungeeignet. Da die hohen Rohfettgehalte hauptsächlich über die Sonnenblumensamen erzeugt werden, ist in weiteren Anbauversuchen zu prüfen, ob Sonnenblumensorten mit kleineren Köpfen und weniger Samenpotential geeigneter sind.

Der **ELOS**-Wert bietet die Möglichkeit der Einschätzung der Verdaulichkeit eines Futtermittels. Hohe Gehalte könne auf hohe Stärkegehalte oder gute Faserverdaulichkeiten zurückzuführen sein. Betrachtet man Tabelle 27 mit den Analysewerten der frischen Proben, war der ELOS-Wert bei M-solo und M-Stabo am höchsten, wo auch die Stärkegehalte am höchsten waren. Ähnlich ist es bei den silierten ELOS-Werten in Tabelle 28. Über alle Proben hinweg zeigte die Variante M-Sorg die geringsten ELOS-Werte, was im Vergleich der Varianten auf eine schlechtere Verdaulichkeit hinweist. Betrachtet man die Ergebnisse innerhalb der Varianten (vgl. Tabelle 31) wird ersichtlich, dass der ELOS-Wert der Maispflanzen in den Gemengen M-Soblu und M-Sorg höhere Werte aufzeigen, als mit Gemengepartner. Erkennbar an den Ergebnissen der frischen und silierten Analysen war auch, dass mit steigendem Rohfaseranteil der ELOS-Wert abnahm. In Hinblick auf die Rinderfütterung sind die hohen Rohfaseranteile und die geringeren Stärkegehalte in M-Soblu und M-Sorg nicht förderlich für die Verdaulichkeit dieser Silagen.

Die Netto-Energie-Laktation (**NEL**) bewegte sich in den frischen Analysen (vgl. Tabelle 27) des Feldversuches zwischen 6,4 MJ NEL/kg TS in den Varianten M-Soblu und M-Sorg, 6,9 MJ NEL/kg TS in der Variante M-solo und 7,1 MJ NEL/kg TS in der Variante M-Stabo. In den silierten Proben behielt das Mais-Sorghum-Gemenge das niedrige Energieniveau bei und auch M-solo und M-Stabo zeigten weiterhin ein hohes Niveau. Lediglich die Ergebnisse der Variante M-Soblu veränderten sich in der silierten Variante und stiegen mit 6,8 MJ NEL/kg TS auf den gleichen Wert an wie M-Stabo. Studien von JILG (2021) stützen das hohe Energieniveau der silierten Proben, da in dieser Studie Werte zwischen 7,2 MJ NEL/kg TS und 7,0 MJ NEL/kg TS erreicht wurden, wobei M-solo das höhere Ergebnis brachte. Nach SCHAUMANN (2023) sollte der Energiegehalt einer Maissilage bei über 6,5 MJ NEL/kg TS liegen. Die Varianten M-Soblu und M-Sorg erreichten diesen Wert in der frischen Probe mit 6,4 MJ NEL/kg TS nicht, jedoch in der silierten Variante. Ein Mangel an Energie kann Ketosen und Gebärgäresen verursachen (ULBRICH, et al., 2004), weshalb die Verfütterung der Varianten M-Soblu und M-Sorg mit den Ergebnissen der frischen Analysen überdacht werden sollte. Der LKS (2023) empfiehlt den Wert von 6,8 MJ NEL/kg TS nicht zu überschreiten

(vgl. Tabelle 10). Die Varianten M-solo und Stabo liegen in der frischen Beprobung über diesem Wert. Ein Überschuss kann eine Umwandlung der Energie in Depotfett und damit eine erhöhte Organbelastung verursachen (ULBRICH, et al., 2004). Die Ration sollte dementsprechend angepasst werden. Nach WEILAND (2010) fördern hohe NEL-Werte die Biogasausbeute, da von einer hohen Konzentration an verdaulicher organischer Substanz ausgegangen werden kann. Der solo angebaute Mais und das Mais-Stangenbohnen-Gemenge erzielten die höchsten NEL-Werte, was für den Einsatz in der Biogasanlage spricht. Die niedrige Energiekonzentration des Mais-Sorghum-Gemenges spricht nicht für den Einsatz als Substrat.

In Hinblick auf den errechneten **Energieertrag** (vgl. Tabellen 27 und 28) betrug die Differenz zwischen der frischen und silierten NEL-Berechnungsgrundlage zwischen 2 dt/ha und 8 dt/ha. Die größte Differenz zeigte sich dabei in den Varianten M-Stabo und M-Soblu. Interessant war, dass M-Stabo und M-Sorg beide ein ähnlich hohes Energieertragsniveau mit über 182 dt/ha zeigten. Erklären lässt sich dies durch die hohen Trockenmasseerträge. Die Varianten M-solo und M-Soblu befanden sich ebenfalls auf einem ähnlichen Niveau, allerdings mit niedrigeren Energieerträgen zwischen 130 dt/ha und 139 dt/ha. Auch wenn der Energiegehalt in M-solo höher war, als in M-Soblu, erzielten beide Varianten ähnliche Trockenmasseerträge, was den Energieertrag stark beeinflusste. Die LFL (2021) berechnete im solo angebauten Mais einen Energieertrag von 177 dt/ha und im Mais-Stangenbohnen-Gemenge von 138 dt/ha. Dieses Verhältnis spiegelt sich nicht in den Ergebnissen dieses Feldversuches wider, hier zeigte sich die Variante M-Stabo als ertragreicher, als M-solo. Vergleichswerte zum Energieertrag in Mais-Sonnenblumen- und Mais-Sorghum-Gemengen konnten in der Literaturrecherche nicht gefunden werden.

Der **Natriumgehalt** der frischen und silierten Proben zeigte keine signifikanten Unterschiede über die geprüften Varianten und lag überall unter 0,05 g/kg TS. Nach HOFFMANN (2021) und ULBRICH, et al. (2004) sollte dieser Wert bei 0,1 g/kg TS liegen, welcher im Feldversuch unterschritten wurde. JILG (2021) gibt eine Spanne von 0,05 g/kg TS bis 0,2 g/kg TS an. Die Ergebnisse des Natriumgehaltes lagen im Vergleich zu den Werten in Tabelle 11 unter den angegebenen Richtwerten von HOFFMANN (2021), ULBRICH, et al. (2004), ENGELHARD (2018) und JILG (2021). Ein Mangel kann Zellstoffwechsel- und Fruchtbarkeitsstörungen hervorrufen (ULBRICH, et al., 2004; HOFFMANN, 2021). Bei der Rationsgestaltung mit diesen Mais- und Mais-Gemenge-Silagen sollte der Natriumwert daher überprüft werden.

Der **Kaliumgehalt** sank in den Varianten M-solo, M-Soblu und M-Sorg mit der Silierung, wobei Varianten M-Soblu die größte Differenz aufzeigte. Die Ergebnisse der Variante M-Stabo blieben gleich. M-Soblu zeigte in der frischen und silierten Variante signifikant höhere Kaliumwerte, als die anderen Varianten. Ein Überschuss an Kalium liegt ab einer Menge von

15 g/kg TS vor, welcher dann Störungen wie Labmagenverlagerungen oder Ödembildungen verursachen kann. Die hohen Ergebnisse der Variante M-Soblu mit 13,6 g/kg TS und 10,9 g/kg TS kamen diesem Grenzwert von allen Varianten am nächsten, überschritten diesen jedoch nicht.

Der **Chloridanteil** stieg zwischen der frischen und silierten Analyse in den Varianten M-solo, M-Stabo und M-Sorg um 0,2 g/kg TS bis 0,4 g/kg TS an. Lediglich Variante M-Soblu sank von 3,5 g/kg TS auf 2,9 g/kg TS. Nach HOFFMANN (2021) sollte der Chloridanteil zwischen 2 g/kg TS und 4 g/kg TS liegen. Die Varianten M-solo, M-Stabo und M-Sorg unterschritten den Mindestwert von 2 g/kg TS sowohl in der frischen als auch der silierten Analyse. Dieser Mangel kann Verdauungsstörungen hervorrufen. Die Variante M-Sorg lag in beiden Analysen im optimalen Bereich.

In Bezug auf den **Schwefelanteil** zeigte M-Soblu in der frisch analysierten Variante signifikant höhere Ergebnisse, als M-solo und M-Sorg. M-Soblu und M-Stabo zeigten ein ähnliches Niveau und keinen signifikanten Unterschied untereinander. Die Ergebnisse der silierten Proben zeigten hinsichtlich des Schwefels keine signifikanten Unterschiede. In der Literatur werden Richtwerte zwischen 0,9 g/kg TS und 1,7 g/kg TS angegeben (vgl. Tabelle 11). Die Ergebnisse des Feldversuches bewegten sich zwischen 0,8 g/kg TS und 1,1 g/kg TS, was dem Richtwert nach JILG (2021) und ENGELHARD (2018) von 0,9 g/kg TS ähnelt. Nach HOFFMANN (2021) sollten 3 g/kg TS nicht überschritten, da sonst ein Kupfermangel entstehen kann. Da alle Werte der Varianten darunter lagen, besteht dahingehend keine Gefahr.

Der aus den Nährstoffwerten ermittelte **DCAB** zeigte in der frischen Analyse einen signifikant höheren Wert in der Variante M-Soblu. Die Varianten M-solo, M-Stabo und M-Sorg waren auf einem ähnlichen Niveau ohne signifikanten Unterschied. Der DCAB-Wert nahm in der silierten Variante ab. Nach ENGELHARD (2018) und JILG (2021) liegt der Richtwert für den DCAB für Silomais bei 250 meq/kg TS bis 263 meq/kg TS. HOFFMANN (2021) und ULBRICH, et al. (2004) geben Werte von 80 meq/kg TS und 180 meq/kg TS bzw. ca. 117 meq/kg TS an. Die Richtwerte der Quellen weichen stark voneinander ab. Die Ergebnisse der Variante M-solo im Feldversuch mit 93,0 meq/kg TS (frisch) und 72,7 meq/kg TS (siliert) kamen den Daten von HOFFMANN (2021) nah. Festgehalten werden kann, dass die DCAB-Werte der Maisgemenge in der Frischmaisanalyse und silierten Beprobung höher waren, als die des solo angebaute Mais. Bis auf die Variante M-solo, bei den silierten Proben, lagen die Ergebnisse innerhalb der Spanne von HOFFMANN (2021). Werte von über 250 meq/kg TS, nach ENGELHARD (2018) und JILG (2021), wurden nicht erreicht. Der Maximalwert lag bei 188,3 meq/kg TS in der Variante M-Soblu, welcher durch die hohen Kaliumgehalte entstand. Dies deckt sich mit dem hohen Kaliumbedarf der Sonnenblume (vgl. Tabelle 6). In Tabelle 31 ist ersichtlich, dass der hohe Kaliumanteil auf die Sonnenblume zurückgeführt werden kann, da der Mais innerhalb dieser

Variante mit 7,4 g/kg TS dem Wert der Variante M-solo mit 7,0 g/kg TS ähnelt. In den Analyseergebnissen innerhalb der Varianten (vgl. Tabelle 31) ist zu erkennen, dass die Gemengepartner Stangenbohne und Sorghum den DCAB-Wert senken, gegenteilig verhält es sich mit dem Gemengepartner der Sonnenblume.

In der Literatur wird ein DCAB von über 200 meq/kg TS in der Ration empfohlen, da die Milchleistung damit steigt (BERKEMEIER, 2017). Da Mais im Vergleich zu dem Grobfuttermittel Gras einen geringeren DCAB aufweist, ist die Fütterung mit einem Maisgemenge zur Erhöhung sinnvoll. Jedoch sollte die gesamte Ration betrachtet werden.

Die richtige Balance von Kationen und Anionen ist entscheidend für den stabilen Betrieb der Biogasanlage. Ein Ungleichgewicht kann zu Problemen wie pH-Schwankungen und Stress für die Mikroorganismen führen, was nach LETHOMÄKI, et al. (2008) die Biogasausbeute verringern kann. Die Pufferkapazität des Substrats, beeinflusst durch die Konzentration von Kationen, kann helfen, den pH-Wert stabil zu halten und den Prozess vor Störungen zu schützen. Hohen Kaliumkonzentrationen können toxisch auf die Mikroorganismen wirken, was die Biogasproduktion beeinträchtigen kann. Die hohen Kaliumgehalte im Mais-Sonnenblumen-Gemenge sprechen somit gegen den Einsatz als Biogassubstrat. Regelmäßige Überwachungen und gegebenenfalls Anpassungen sind notwendig, um eine optimale Performance sicherzustellen.

6.9 Bewertung der Silierparameter und Biogasproduktion

Innerhalb der Silagen wurden die Gärsäuremuster analysiert. Bei Betrachtung der Ergebnisse des **pH-Wertes** wurden signifikante Unterschiede erfasst. Die Variante M-Sorg zeigte mit 3,9 einen signifikant geringeren pH-Wert in der Silage im Vergleich zu den anderen Varianten M-solo, M-Stabo und M-Soblu, welche auf einem ähnlichen Niveau mit 4,0 bis 4,1 lagen. Nach LÜTKE-ENTRUP (2013) und dem LKV BB (2024) sollte eine Maissilage einen pH-Wert von unter 4,2 aufweisen. Die Ergebnisse des Feldversuches lagen alle unter dieser Vorgabe und sind damit als positiv zu bewerten. Untersuchungen von MEYER (2024) ergaben pH-Werte in Maissilagen von 3,6 und in Mais-Bohnen-Gemengen von 3,7. Die Ergebnisse dieser Arbeit lagen über denen von MEYER (2024), sind aber dennoch innerhalb der Richtwerte für Maissilagen. Vergleichswerte zu Mais-Gemenge-Versuchen mit Sonnenblumen und Sorghum als Gemengepartner und deren pH-Werte konnten während der Literaturrecherche nicht gefunden werden.

In Hinblick auf den **Milchsäureanteil** in den Silagen wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten festgestellt. Einsehbar ist in Tabelle 29, dass die Variante M-Soblu den höchsten Milchsäuregehalt mit 5,2 % aufzeigte. Die Varianten M-solo und M-Sorg lagen

mit 4,0 % auf einem gleichen Niveau. Die Variante M-Stabo reihte sich mit 4,4 % dazwischen ein. Nach LUFA (2023) und LKV BB (2024) sollte der Milchsäuregehalt bei über 5 % liegen. Nur Variante M-Soblu überschritt diesen Richtwert, was als positiv zu bewerten ist. Die anderen drei Varianten lagen unter diesem Wert. Ein hoher Anteil an Milchsäure schafft eine schnelle pH-Absenkung und trägt damit zur Stabilität der Silage bei. Die Mais-Sonnenblumen-Silage erwies sich im Versuch damit als sehr stabil und es konnte von einer schnellen Absenkung des pH-Wertes ausgegangen werden. MEYER (2024) analysierte Mais und das Mais-Stangenbohnen-Gemisch auf ihre Milchsäureanteile und kam dabei auf 7,62 % in der reinen Maissilage und auf 6,27 % im Mais-Bohnen-Gemenge. Der geringere Milchsäureanteil im Gemenge mit Bohnen konnte in dieser Arbeit nicht bewiesen werden, da er hier höher war, als in der reinen Maissilage. Ergebnisse zu Mais-Gemenge-Versuchen mit Sonnenblume und Sorghum als Gemengepartner und deren Milchsäuregehalt konnten während der Literaturrecherche nicht gefunden werden.

Der **Essigsäuregehalt** lag innerhalb der Varianten zwischen 0,8 % und 1,0 %. Es gab keine signifikanten Unterschiede. Die Variante M-solo zeigte dabei den tendenziell höchsten Essigsäureanteil mit 1,0 % und die Variante M-Stabo den geringsten mit 0,8 %. Nach LÜTKE-ENTRUP, et al. (2013) sollte der Essigsäureanteil zwischen 2 % und 3 % liegen. Die Ergebnisse des Feldversuches lagen unter diesem Richtwert. Da Essigsäure die Bildung von Hefepilzen unterdrückt, die aerobe Stabilität der Silage unterstützt und damit der Nacherwärmung des offenen Silos entgegenwirkt, ist der geringe Anteil von unter 1 % in den geprüften Varianten als fragwürdig darzustellen. Die Maisgemenge lagen unter 1 %, was die Frage aufwirft, ob die Hefebildung und Nacherwärmung des Silos dadurch begünstigt werden. Dieses Resultat wäre als negativ zu bewerten. MEYER (2024) analysierte Mais und das Mais-Stangenbohnen-Gemisch auf ihre Essigsäureanteile und kam dabei auf 1,48 % in der reinen Maissilage und auf 1,32 % im Mais-Bohnen-Gemenge. Der geringere Essigsäureanteil im Gemenge mit Bohnen spiegelte sich auch in den Versuchsergebnissen dieser Arbeit wider.

Der Anteil an **Buttersäure** lag bei 0,1 % bzw. 0,0 % in allen Varianten. Die Varianten M-solo und M-Sorg hatten dabei den höchsten Anteil mit 0,1 %. Nach LUFA (2023), LKV BB (2024) und LÜTKE-ENTRUP, et al. (2013) sollte dieser Wert unter 0,3 % liegen. Höhere Werte sprechen für eine Fehlgärung aufgrund von Erde und Schmutz in der Silage. Da die Silagen in dieser Arbeit unter diesem Grenzwert von 0,3 % lagen, sind diese als positiv zu bewerten. Fehlgärungen können damit ausgeschlossen werden. Interessant ist hierbei, dass der höhere Rohascheanteil der Variante M-Soblu, welcher auch auf Verschmutzungen zurückgeführt werden kann, keinen Einfluss auf die Gärung hatte. Ergebnisse zu Mais-Gemenge-Versuchen und deren Buttersäuregehalt konnten während der Literaturrecherche nicht gefunden werden.

Für die Biogasproduktion sind zu hohe pH-Werte und Gärsäurekonzentrationen nicht förderlich da sie die mikrobielle Aktivität verringern (HUSSAIN, et al., 2021). Da es keine signifikanten Unterschiede der Gärsäureanteile unter den Gemengen gab, sollten keine negativen Effekte in der Biogasproduktion zu erwarten sein.

Bei Betrachtung der Ergebnisse der **Biogaserträge** in Tabelle 30 zeigt sich, dass die Variante M-solo mit 261,1 m³/t FM den höchsten und die Variante M-Soblu mit 220,0 m³/t FM den niedrigsten Ertrag erzielte. Die Variante M-Soblu unterschied sich bei den Biogas- und Methanerträgen in m³/t FM signifikant zum solo angebauten Mais. Die Gemenge zeigten untereinander keine signifikanten Unterschiede, aber ein niedrigeres Niveau im Vergleich zu M-solo. Den höchsten Methanertrag erzielte die Variante M-solo mit 137,2 m³/t FM und den niedrigsten die Variante M-Soblu mit 115,5 m³/t FM. Nach FNR (2016) besitzt eine Maissilage ein höheres Biogas- und Methanertragsniveau, als Sonnenblumen- und Sudangrassilage. Die geringen Erträge der Einzelkomponenten Sonnenblume und Sorghum tragen dazu bei, dass in einem Gemenge mit Mais der Biogas- und Methanertrag abfällt. In Bezug auf die Erträge auf Basis der Frischmasse waren sich die Varianten M-solo und M-Sorg am ähnlichsten.

Hinsichtlich der **Biogas- und Methanausbeute** konnten keine signifikanten Unterschiede innerhalb der Varianten festgestellt werden (vgl. Tabelle 30). Auffällig war innerhalb der Biogausausbeute, dass die Varianten M-solo (694,8 m³/kg FM) und M-Stabo (691,7 m³/kg FM) ein ähnliches Niveau aufwiesen und auch die Varianten M-Soblu (675,4 m³/kg FM) und M-Sorg (671,7 m³/kg FM). Die gleichen Tendenzen konnten im Vergleich der Methanausbeuten festgestellt werden. Tendenziell erzielte M-solo die höchsten Ausbeuten und M-Sorg die niedrigsten. In Untersuchungen von SCHULZ (2022) konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen solo angebauten Mais und einem Mais-Stangenbohnen-Gemenge hinsichtlich der Biogausausbeute ermittelt werden. Dies wurde durch die Ergebnisse dieser Arbeit bestätigt. Ähnlich zeigt es sich in den Ergebnissen der LFL (2021). Auch hier zeigte das Mais-Stangenbohnen-Gemenge mit 708 l/kg TM geringere Biogausausbeute, als der reine Mais mit 720 l/kg TM. SAMARAPPULI, et al. (2018) bestätigt das niedrigere Biogasniveau in Mais-Sorghum-Gemengen im Vergleich zum solo angebauten Mais. In dieser Studie aus den USA erzielte der reine Mais einer Biogausausbeute von 1.042,2 l/kg FM und das Mais-Sorghum-Gemenge zwischen 982,1 und 986,4 l/kg FM. Auch wenn die Ergebnisse im Feldversuch der Arbeit geringer ausfielen, so spiegelte es dennoch die niedrigere Tendenz des Gemenges im Feldversuch wider.

6.10 Fehleranalyse

Die Ergebnisse dieser Arbeit stellen eine Momentaufnahme dar, da diese nur einjährig ausgewertet wurden. Um die Aussagekraft über die getroffenen Schlussfolgerungen zu verstärken, bedarf es einer mehrjährigen Untersuchung. Dabei sollten die Anbaubedingungen, wie Bodenbeschaffenheit und Klima, genaustens betrachtet werden. Das Jahr 2023 stellte ein regenreiches Jahr dar, was die Ergebnisse hinsichtlich des Ertrags und der Qualität positiv beeinflusste. Dies sorgte auch dafür, dass das Konkurrenzverhalten zwischen Mais und seinen Gemengepartnern Stangenbohne und Sorghum nur geringfügig bis gar nicht ausgeprägt war. In Jahren mit trockneren Anbaubedingungen kann sich dies anders darstellen.

Bei Betrachtung der Versuchsanlage wurde darauf geachtet, gleiche Varianten im Versuch nicht nebeneinander zu stellen. Zusätzlich wurde ein eigenes Vorgewende ausgewählt und der Versuch nicht in eine Senke oder auf eine Kuppe gestellt, die die Ergebnisse beeinflussen konnten. Die Parzellenlänge von 5 m scheint ausreichend und auch die Anzahl der Wiederholungen. Mit Blick auf diese Aspekte kann von negativen Einflüssen auf den Versuch abgesehen werden.

Der Aussaatzeitpunkt wurden bedacht anhand der Bodentemperatur bei 11,1 °C gewählt. Für die Kulturen Stangenbohne und Sorghum hätte die Temperatur höher sein können, jedoch zeigte die Wettervorhersage einen stetigen Anstieg der Temperaturen in den darauffolgenden Tagen bzw. Wochen. Die Aussaat von Mais und den Gemengen mit Stangenbohne und Sonnenblume funktionierte mit der genutzten Technik der Firma *BioChem agrar GmbH* im ersten Moment fehlerfrei. Im Nachhinein tauchten Fehlstellen auf bzw. musste das Mischungsverhältnis im Bestand durch Nachsaat und Vereinzeln nachgebessert werden. Eine Nachsaat bedingt unterschiedliche Entwicklungsstadien im Bestand, welche die Einzelpflanze nur schwer ausgleichen kann. Dies bedingt später eine Verschiebung des Blütezeitpunktes und der Erntereife. Somit kann es hierdurch einen Einfluss auf den TS-Gehalt gegeben haben, der sich auf die Trockenmasseerträge auswirkt. Die Aussaat des Sorghums im Maisgemenge wurde per Hand durchgeführt. Dies ist keine praxistaugliche Variante für Landwirtschaftsbetriebe. Der Feldaufgang stellte sich ebenfalls als schwierig dar, weswegen auch hier eine Nachsaat erfolgen musste. Eine gemeinsame Aussaat ist möglicherweise mithilfe eines Mikrogranulattanks an der Sämaschine möglich. Ansonsten sollte eine getrennte stattfinden. Möglich wäre auch ein Reihenwechsel zwischen Mais und Sorghum anstatt einem Gemenge in der Reihe.

Der Verzicht auf Unterfußdünger eine Düngemaßnahmen zur Vegetation stellt einen positiven Aspekt dar, da dadurch Einflüsse auf den Ertrag ausgeschlossen werden können.

Ein weiterer praxisunüblicher Aspekt ist die Unkrautentfernung per Hand. Dies hatte einen großen Einfluss auf den Ertrag. Ohne diesen Schritt wäre die Konkurrenz durch die Beikräuter für die Hauptkulturen im Feld sehr stark gewesen und hätte zu einer hohen Unterdrückung der Pflanzen geführt. Dadurch wäre das Mischungsverhältnis und die Bestandesdichte beeinflusst worden, was sich maßgeblich auf die Erträge ausgewirkt hätte.

Die Erfassung der Wetterdaten erfolgte an einem Standort, der 28 km vom Versuchsstandort entfernt liegt. Die stellt die erfassten Temperatur- und Niederschlagsdaten in Frage und beeinflusst die Interpretation dieser.

Eine weitere mögliche Fehlerquelle zeigt sich in der Probenahme der Bodenproben. Die Probenahmepunkte wurden bedacht und in einer hohen Anzahl je Parzelle gewählt, um eine möglichst genaue Einschätzung des Bodenzustandes zu erhalten. Dennoch ist nicht auszuschließen, dass der Boden aus Tiefen von 60 cm bis 90 cm sich mit dem Oberboden in 0 cm bis 30 cm vermischt hat beim Einfüllen in die Probentüten. Dies könnte die N_{\min} -Werte beeinflusst haben und deren Ergebnisse in Frage stellen.

Bei der Beerntung wurden darauf geachtet, aufeinanderfolgende Pflanzen zu beernten und die Pflanzen nicht einzeln auszuwählen. Zusätzlich wurden nur die Mittelreihen beerntet, um Randeffekte ausschließen zu können. Die Erfassung der Pflanzengewichte, welche die Grundlage der Ertragserfassung darstellen, erfolgte mittels einer Zugwaage. Eine Kalibrierung dieser kann nicht nachgewiesen werden, weswegen hierbei Abweichungen auftreten können. Das gleiche gilt für die Küchenwaage zur Messung der Kolbengewichte. Somit können Fehler in den Ergebnissen zu Frisch- und Trockenmasseerträgen sowie Kolbengewichten und Kolben-Restpflanzen-Verhältnissen aufgetreten sein.

Eine wichtige Fehlerquelle stellt die Vollanalyse im Labor dar. Die reinen Maisproben wurden mittels NIRS analysiert und die Gemenge mittels dem nass-chemischen Verfahren. Nach Rücksprache mit dem Labor ist die Genauigkeit der NIRS-Ergebnisse als sehr hoch einzustufen, da hinter diesen Werten eine Vielzahl von Kalibrierungen nass-chemischer Analysen stehen. Eine Abweichung von den NIRS-Ergebnissen zu den nass-chemischen Werten ist möglich, seitens des Labors allerdings als nicht signifikant erwiesen. Dennoch sollte in zukünftigen Feldversuchen auf eine einheitliche Variante zurückgegriffen werden.

Eine relevante Fehlerquelle stellt die Analyse der frischen und silierten Proben und deren Vergleich dar. Auch wenn beiden Proben aus einer Probenahme der Variante und Parzelle darstellen, so sind es nicht die gleichen Proben. Demnach entstehen Unterschiede in den Analysewerten. Es kann trotz Mischprobe nicht sichergestellt werden, dass derselbe Anteil an Pflanzen von Mais und Gemenge bzw. Kolben in beiden Proben vorhanden sind.

Das Einsilieren in die Gläser birgt Risiken, welche im Versuch dieser Arbeit jedoch nicht eingetreten sind. Das Einpressen sollte sorgfältig vorgenommen werden, um einen Einschluss von zu viel Sauerstoff zu vermeiden. Ebenfalls muss auf das Desinfizieren der Glasränder geachtet werden, da dadurch eine Schimmelbildung verursacht werden kann. Auch das luftdichte Verschließen mit den Dichtringen muss geprüft werden, da die Dichtringe verrutschen können. Diese genannten Fehlerquellen wurden im Versuch berücksichtigt und konnten vermieden werden, weswegen das Infragestellen der Silierqualität außer Frage steht.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass durch den Versuchsaufbau und die Probenahme eine hohe Genauigkeit der Ergebnisse entstanden ist. Die wichtigsten Fehlerquellen, welche einen Einfluss auf die Ergebnisse darstellen waren:

- die Momentaufnahme aus einem einjährigen Feldversuch
- die Aussaat des Sorghums per Hand
- die Unkrautregulierung per Hand
- die nicht kalibrierten Waagen zur Ernte
- die verschiedenen Verfahren zur Futtermittelanalyse (NIRS und nass-chemisch)

In zukünftigen Versuchen sollten diese Fehlerquellen berücksichtigt und vermieden werden.

7 Schlussfolgerung

Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, die Auswirkungen des Mais-Gemengeanbaus auf den Ertrag, ausgewählte Bodenparameter und die Qualität, mit Hilfe eines Feldversuches im Jahr 2023, zu untersuchen und bewerten. Die vorherige Diskussion der Ergebnisse lässt folgende Schlussfolgerungen zu:

- Die politischen Gegebenheiten geben den Landwirten keine einheitlichen Richtlinien zum Gemengeanbau. Innerhalb der GAP-Fördermaßnahmen bestimmt jedes Bundesland selbst über die Mischungsverhältnisse, was zu Unmut unter den Landwirten sorgt. Erste Pressemitteilungen lassen erkennen, dass der Mais-Gemengeanbau zukünftig nicht weiter gefördert wird. Die Politik verschließt sich damit gegenüber den Vorteilen dieser Anbausysteme. Daher ist damit zu rechnen, dass der Gemengeanbau in Zukunft stark reduziert wird.
- Aus botanischer Sicht bieten die Gemengepartner viele Vorteile. Die Stangenbohne und Sonnenblume unterstützen, durch die breiten Blätter und die starke Jugendentwicklung, die Beschattung und damit die Unkrautunterdrückung. Die flachen Wurzelsysteme der Stangenbohne und des Sorghums schaffen eine gute Lockerung des Oberbodens. Die Sonnenblume ermöglicht eine Tiefenlockerung durch ihre tiefe Pfahlwurzel, wodurch sie auch Wasser und Nährstoffe in tiefen Bodenschichten aufnehmen kann. Die Stangenbohne bietet die Möglichkeit der Symbiose mit Knöllchenbakterien, wodurch eine Stickstofffixierung ermöglicht werden kann. Zusätzlich fungiert der Mais als Stützkultur für die Stangenbohne, jedoch sollten die Zugkräfte der Stangenbohne nicht unterschätzt werden, die die Maispflanze auch zum Abknicken bringen können. Als C₄-Pflanzen haben die Kulturen Mais und Sorghum einen Vorteil unter trockenen und warmen klimatischen Bedingungen, da sie auch da hohe Biomasseerträge generieren können.
- Ein Konkurrenzverhalten zwischen der Hauptkultur Mais und den Gemengepartnern Stangenbohne und Sorghum war im Feldversuch nicht erkennbar. Die Stangenbohne zeigte anfänglich eine starke Bestockung und rankte sich anschließend am Mais hoch. Die Beschattung durch den Mais, welcher da schon weitaus größer war, als die Stangenbohne, beeinflusste die Entwicklung der Stangenbohne nicht. Das Sorghum zeigte eine sehr langsame Jugendentwicklung und ließ anfänglich eine Unterdrückung durch den Mais vermuten, welche sich im weiteren Vegetationsverlauf jedoch nicht bestätigte. Das Sorghum gilt damit als sehr widerstandsfähig. Eine Konkurrenz zum Mais stellte die Sonnenblume dar, da diese eine sehr zügige Jugendentwicklung zeigte und in ihrer Wuchshöhe mit dem Mais mitwuchs. Dies sorgte für eine Konkurrenz um Licht, Wasser und Nährstoffe, worauf der Mais mit Wachstumsdepressionen reagierte.

- Für den Anbau von Maisgemengen sollte auf lehmige Böden mit einer Ackerzahl von über 40 zurückgegriffen werden. Diese Böden zeigen ein besseres Wasserhaltevermögen, was vor allem für die Stangenbohne und Sonnenblume, durch die hohen Transpirationskoeffizienten, vorteilhaft ist. Durch die hohen Bodentemperatursprüche sind leicht erwärmbare Böden zu bevorzugen. Zu beachten ist die Stickstoffversorgung der Böden, da die Stangenbohne die Möglichkeit der Stickstofffixierung nur unter einer Stickstoffmangelsituation bietet. Mais und Sorghum lassen sich gut auf leichten Standorten anbauen. Als C₄-Pflanzen ertragen sie hohen Temperaturen gut. Die vergleichsweise niedrigen Transpirationskoeffizienten sprechen ebenfalls für einen Anbau auf leichten Standorten.
- Eine gemeinsame Aussaat von Mais und Stangenbohne stellt aufgrund des ähnlichen Tausendkorngewichtes und Kornform kein Problem dar. Bei der Aussaat mit Sonnenblumen kann die spitze Form der Samen zu Fehlstellen oder Doppelbelegungen führen. Mais und Sorghum können in einem fertigen Gemisch nicht gemeinsam gesät werden, da die Korngröße sich zu stark unterscheidet. Hier sind wechselnde Reihen oder das nachträgliche Säen des Sorghums eine Alternative. Aufgrund der Bodentemperatursprüche sollten die Gemenge mit Stangenbohne und Sorghum erst ab 12 °C Bodentemperatur gelegt werden. Das Gemenge mit Sonnenblume kann bereits ab 8 °C gesät werden. Hinsichtlich der Ablagetiefe sollte sich diese auf den Gemengepartner angepasst werden, da dieser flacher abgelegt wird, als der Mais.
- Das Wachstum und die Entwicklung der Bestände ist von der Niederschlagsverteilung abhängig. Wenig Niederschlag in den ersten vier Wochen nach der Aussaat begünstigen die Wurzelentwicklung. Danach benötigen die Pflanzen Wasser für das Längenwachstum im Juni, die Blüte im Juli und die Fruchtbildung im August. Das Sorghum zeigte erst im August ein verstärktes Längenwachstum, was durch eine gute Wasserverfügbarkeit und hohe Temperaturen unterstützt wird.
- Problematisch gestaltet sich der chemische Pflanzenschutz hinsichtlich der Herbizidbehandlung. Diese ist nur im Voraufbau möglich. Verunkrautungen während der Vegetation sind chemisch nicht bekämpfbar, weswegen der Einsatz einer Hacke empfohlen wird. Eine Möglichkeit bietet der Anbau von cycloxydim-resistenten Maissorten im Gemenge mit Stangenbohnen und Sonnenblumen, da dann im Nachaufbau mit dem Mittel *Focus Ultra* gearbeitet werden kann.

- Auswirkungen der Maisgemenge auf den Boden konnten statistisch nicht abgesichert werden. Dazu sind mehrjährige Anbauversuch notwendig. Die Differenzen zwischen Aussaat und Ernte entsprachen den Nährstoffbedarfen der Gemengepartner. Tendenziell wurden im Mais-Stangenbohnen-Gemenge höhere Humusgehalte zur Ernte erzielt, was sich positiv auf die Aktivität der Bodenorganismen auswirkt.
- Die Gemenge erreichten signifikant höhere Frischmasseerträge, als der solo angebaute Mais, was auf die erhöhten Bestandesdichten zurückzuführen ist. Die reinen Maiserträge in den Varianten mit Stangenbohnen und Sorghum ähnelten sich. Im Mais-Sonnenblumen-Gemenge zeichnete sich ein signifikante niedrigerer Maisertrag ab, was auf eine verstärkte Konkurrenz zwischen den beiden Kulturen zurückzuführen ist. Die Pflanzenlängen der Maispflanzen bestätigten die Erträge. Hinsichtlich der Kolbengewichte erzielten die Gemengevarianten niedrigere Ergebnisse und breite Streuungen der Werte. Dabei unterschied sich nur das Mais-Sonnenblumen-Gemenge, mit niedrigeren Kolbengewichten, signifikant von den anderen Varianten. Die Trockensubstanzgehalte waren in den Gemengen niedriger, als beim solo angebauten Mais. Die zeigt, dass die Gemengepartner mehr Feuchtigkeit ins Erntegut einbringen und dass dahingehend auf die Ernteterminierung geachtet werden muss.
- Aus qualitativer Sicht zeigt das Mais-Stangenbohnen-Gemenge Vorteile durch höhere Rohprotein-, Stärke- und Energiegehalte, was die Nutzung als Futtermittel für Wiederkäuer und Substrat für die Biogasanlage ermöglicht. Das Mais-Sonnenblumen-Gemenge charakterisiert sich durch hohe Rohasche-, Rohfett- und Fasergehalte, kombiniert mit einem niedrigen Stärke- und Energieniveau. Diese Fakten sprechen gegen den Einsatz in der Rinderfütterung oder zur Biogasproduktion. Das Mais-Sorghum-Gemenge definiert sich durch hohe Fasergehalte und niedrige Stärke- und Energiewerte, was gegen die Verwendung in der Rinderfütterung spricht. Durch die hohen Frischmasseerträge kann dieses Gemenge als Partner zum Mais auf leichten Standorten gesehen und als Biogassubstrat genutzt werden. Durch die Gemengepartner kommt es zu einem Anstieg der Kationen und Anionen. Dabei zeigen sich signifikant höhere Kalium- und Chloridgehalte im Mais-Sonnenblumen-Gemenge, was den DCAB enorm erhöht im Vergleich zu den anderen Varianten.
- Bezugnehmend auf die Silierparameter können keine Unterschiede im Gärsäuremuster festgestellt werden, was für eine gemeinsame Silierung spricht. Die Biogaserträge und Methanausbeuten werden durch alle Gemengepartner reduziert. Demnach können die Gemenge nicht als eindeutige Alternative zum Mais angesehen werden.

Zusammengefasst stellt das Mais-Stangenbohnen-Gemenge einen Mehrwert im Anbau dar und bietet qualitativ viele Vorteile. Das Mais-Sonnenblumen-Gemenge bringt weder ertraglich noch qualitativ einen Nutzen und ist für den Landwirt daher uninteressant. Das Mais-Sorghum-Gemenge kann als Partner zum reinen Mais im Anbau fungieren, um viel Masse zu produzieren. Eine vollständige Alternative stellen die Gemenge zum Mais nicht dar, da aus anbautechnischer Sicht, vor allem im Bereich des Pflanzenschutzes, viele Einschränkungen bewältigt werden müssen.

Mit Blick auf die Ergebnisse des Feldversuches dieser Arbeit und die der Literatur wird weiterer Forschungsbedarf festgestellt, um die Einflüsse des Mais-Gemengeanbaus auf den Boden, die Erträge und Qualitätsparameter weiter zu untersuchen. Vor allem die tiefgründige qualitative Untersuchung muss in den Fokus rücken, da bisherige Versuche sich überwiegend nur auf das Rohprotein bezogen haben.

8 Zusammenfassung

Mais hat durch seine vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten als Nahrungsmittel, Tierfutter oder Energielieferant weltweit und in Deutschland eine hohe Bedeutung. Die „Ackerbastrategie 2035“ enthält sechs Leitlinien für eine nachhaltige Landwirtschaft, wobei Mais aufgrund seiner hohen Ertragsleistung und Effizienz im Stickstoffverbrauch eine zentrale Rolle spielt. Der Mais-Gemengeanbau ist eine innovative Anbaumethode, die ökologisch vorteilhaft ist und stabile Erträge sowie höhere Resilienzen gegen Umweltstress verspricht.

Die GAP-Reform im Jahr 2023 stellt die Landwirtschaft vor neue Herausforderungen. Speziell die GLÖZ 7 und ÖR 2, welche die Fruchtfolgegestaltung und den Leguminosenanbau verfolgen, zwingen die Landwirte zum Umdenken. Der Mais-Gemengeanbau kann dabei eine nützliche Aufwertung darstellen. Landwirte sind dabei jedoch auf klare Regelungen in den Bundesländern angewiesen, welche aktuell nicht eindeutig bzw. bundeslandübergreifend nicht einheitlich geregelt sind. Schwierig gestaltet sich auch die Satellitenfernerkundung, welche die Klima- und Umweltmaßnahmen erfassen sollen. Nicht sicher ist, ob der Satellit ein Gemenge erkennen kann.

Um die Vor- und Nachteile des Mais-Gemengeanbaus mit Stangenbohnen, Sonnenblumen und Sorghum darzustellen, wurde mithilfe eines Feldversuches im Jahr 2023 eine detaillierte Betrachtung von Boden-, Ertrags- und Qualitätsparametern vorgenommen und mit solo angebauten Mais verglichen. Während Mais mit Stangenbohnen und Sonnenblumen problemlos als Mischung gesät werden konnte, stellt ein Gemenge mit Sorghum ein Hindernis dar, da eine gemeinsame Aussaat in einem Saatgutbehälter, aufgrund der unterschiedlichen Korngrößen, nicht möglich war. Sorghum könnte über einen Mikrogranulattank gesät oder in wechselnden Reihen angebaut werden.

In Bezug auf die Nährstoff- und Wasseransprüche der einzelnen Kulturen zeigen sich große Unterschiede, die mögliche Konkurrenzen unter den Gemengepartnern aufrufen können. Dies zeigte sich im Feldversuch dieser Arbeit zwischen den Kulturen Mais und Sonnenblume. Die Gemengepartner Stangenbohne und Sorghum stellten keine Konkurrenz zum Mais dar.

Eine Belastung im Mais-Gemengeanbau stellt der Pflanzenschutz dar, speziell die Herbizidmaßnahme. Begründen lässt sich dies durch die begrenzten Verfügbarkeiten der Herbizidwirkstoffe und die Konzentration auf Vorauflaufmaßnahmen. Den Landwirten wird der Einsatz einer Hacke empfohlen, um spätere Verunkrautung im Bestand zu minimieren.

Bodenanalytisch können die Ergebnisse dieser Arbeit keinen signifikanten Einfluss der Gemengepartner auf die Nährstoffzusammensetzung im Boden nachweisen. Dazu müssen mehrjährige Versuchsergebnisse betrachtet werden. Festgehalten werden kann, dass sich der Nährstoffbedarf der Kulturen in den Differenzen der Nährstoffgehalte im Boden zwischen

Aussaat und Ernte widerspiegelt. Eine Symbiose mit Knöllchenbakterien konnte im Mais-Stangenbohnen-Gemenge nicht nachgewiesen werden, da die Stickstoffvorräte im Boden zu hoch waren und damit keine Mangelsituation entstand.

Im Gemengeanbau können höhere Frischmasseerträge erzielt werden, als mit solo angebauten Mais, was auf die höheren Saatstärken zurückzuführen ist. Die Sonnenblume erwies sich als konkurrenzstarker Gemegepartner und hatte damit einen negativen Einfluss auf den Frischmasseertrag des Gemenges, sowie die Pflanzenlänge und Kolbengewichte des Maises. Die Ergebnisse der Kolbengewichte zeigten eine breitere Streuung der Werte in den Gemengen, was für interspezifische Konkurrenzen spricht.

Futteranalytisch erwies sich das Mais-Stangenbohnen-Gemenge als positiv, da der Rohproteingehalt signifikant gesteigert und erhöhte Stärke- und Energiegehalte festgestellt werden konnten. Das Mais-Sonnenblumen-Gemenge stellte durch hohe Rohaschegehalte, ein geringes Stärke- und Energieniveau, sowie hohe Ligninanteile eine Wertminderung für die Milchviehfütterung und die Biogasproduktion dar. Das Mais-Sorghum-Gemenge sorgte für ansteigende Faser- und verminderte Stärke-, sowie ELOS- und Energiegehalte, was die Qualität negativ bewerten lässt. Alle Gemenge zeigten eine Steigerung der Kationen und Anionen und somit des DCAB im Vergleich zum solo angebauten Mais. Innerhalb der Varianten konnten die qualitativen Veränderungen den Gemegepartnern zugewiesen werden.

Die Gemegepartner zeigten keinen statistisch nachgewiesenen negativen oder positiven Einfluss auf den Silierprozess. Die Gärsäuremuster zeigten in allen Varianten die gleichen Tendenzen.

Die Biogaserträge und Methanausbeuten konnten im Mais-Gemengeanbau nicht gesteigert werden, da die Gemegepartner selbst niedrigere Werte aufweisen und damit im Gemenge die Erträge und Ausbeuten mit dem Mais verringern. Das Mais-Sonnenblumen-Gemenge erwies sich dabei als am wenigstens effizient.

Weiterer Forschungsbedarf ist hinsichtlich des Mais-Gemengeanbaus dringend erforderlich, um den Landwirten einen tiefgründigeren Einblick in die Chancen und Risiken zu gewährleisten.

Abstract

Maize holds significant importance globally and in Germany due to its diverse applications as food, animal feed, and an energy source. The "Ackerbaustrategie 2035" outlines six guidelines for sustainable agriculture, emphasizing maize's central role because of its high yield potential and nitrogen use efficiency. Intercropping with maize is an innovative cultivation method that offers ecological benefits and promises stable yields and greater resilience to environmental stress.

The 2023 Common Agricultural Policy (GAP) reform presents new challenges for agriculture, particularly with standards such as GLÖZ 7 and ÖR 2, which focus on crop rotation and legume cultivation, prompting farmers to reconsider their practices. Maize intercropping could be a valuable enhancement in this context, but farmers rely on clear regulations, which are currently inconsistent across federal states. Additionally, satellite remote sensing, intended to monitor climate and environmental measures, faces difficulties in reliably detecting crop mixtures.

To assess the advantages and disadvantages of maize intercropping with pole beans, sunflowers, and sorghum, a field trial was conducted in 2023 to examine soil, yield, and quality parameters, compared to monocultures of maize. While maize could be easily mixed and sown with pole beans and sunflowers, intercropping with sorghum posed challenges due to different seed sizes preventing joint sowing in a single seed container. Sorghum may need to be sown using a microgranule tank or in alternating rows.

Significant differences in nutrient and water requirements among crops can lead to potential competition among intercropping partners, as demonstrated in this study between maize and sunflower, whereas pole beans and sorghum showed no competitive interaction with maize. Weed management, especially herbicide application, is a challenge in maize intercropping due to limited availability and pre-emergence herbicides. Mechanical weeding is recommended to reduce late-season weed growth.

Soil analysis in this study did not show a significant impact of intercropping partners on soil nutrient composition, highlighting the need for long-term studies. The nutrient demands of the crops were reflected in the changes in soil nutrient content from sowing to harvest. A symbiosis with nitrogen-fixing bacteria was not observed in the maize-pole bean intercrop due to high soil nitrogen reserves, which prevented deficiency conditions.

Higher fresh biomass yields can be achieved with intercropping compared to maize monocultures, attributed to higher sowing densities. Sunflowers emerged as a strong competitor, negatively affecting fresh biomass yield, plant height, and maize cob weight. The variation in cob weight in intercrops suggests interspecific competition.

From a feed analysis perspective, maize-pole bean intercrops were favorable due to significantly higher crude protein, starch, and energy content. In contrast, the maize-sunflower intercrop showed high ash content, low starch and energy levels, and high lignin content, reducing its value for dairy cattle feeding and biogas production. The maize-sorghum intercrop resulted in increased fiber and reduced starch, ELNOS, and energy content, negatively affecting quality. All intercrops showed an increase in cations and anions, thus increasing the dietary cation-anion balance (DCAB) compared to maize monocultures. Changes in quality parameters could be attributed to the intercropping partners.

The intercropping partners did not significantly affect the ensiling process, as the fermentation acid patterns showed similar trends across all treatments. Biogas yields and methane production were not enhanced with maize intercropping, as the partners had lower values, reducing yields and outputs when combined with maize. The maize-sunflower intercrop was the least efficient in this regard.

Further research on maize intercropping is urgently needed to provide farmers with a deeper understanding of its opportunities and risks.

Literaturverzeichnis

Achilles, Werner, Anter, Jano und Belau, Till. 2018. *KTBL - Faustzahlen für die Landwirtschaft*. s.l. : Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., 2018. 15. Auflage.

Adama. 2024. Adama. *Herbizide-Unkrautbekämpfung*. [Online] 2024. [Zitat vom: 21. Januar 2024.] <https://www.adama.com/deutschland/de/produkte/pflanzenschutz/herbizid#:~:text=Herbizide%20sind%20Pflanzenschutzmittel%2C%20die%20zur,Kulturpflanze%20bessere%20Wachstumsbedingungen%20zu%20schaffen..>

agro results. 2024. *Definition der Analysenparamete*. s.l. : agro results, 2024.

Ahrens, Sandra. 2024. statista. *Ertrag je Hektar Anbaufläche der wichtigsten Getreidearten weltweit in den Jahren 1993/1994 bis 2022/2023**. [Online] 03. Januar 2024. [Zitat vom: 21. Januar 2024.] <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/226127/umfrage/hektarertrag-von-getreide-in-deutschland-seit-1960/>.

Ahrens, Sandra. 2024a. statista. *Anteilmäßige Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen zur Herstellung von Biogas in Deutschland im Jahr 2021*. [Online] 02. Januar 2024a. [Zitat vom: 17. januar 2024.] <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1396376/umfrage/verwendung-nachwachsende-rohstoffe-biogas/>.

Amberger, Anton. 1996. *Pflanzenernährung*. Stuttgart : Verlag Eugen Ulmer, 1996.

Amon, T., et al. 2007. *Biogas production from maize and dairy cattle manure—Influence of biomass composition on the methane yield*. s.l. : Agricultural, Ecosystems & Enviroment, 2007.

Andreas, Charlotte, et al. 2023. *Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland*. s.l. : Pflanzenschutzdienste der Länder Berlin, Brandenburg, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen, 2023.

Andresen, Hauke. 2023. *Mais Mischanbau - Umsetzungen in der Praxis Teil 2/2*. [Online] RAGT, 2023. [Zitat vom: 10. März 2024.] <https://www.youtube.com/watch?v=VNNPUVRdKGg>.

Angelidaki, I. und Ahring, B. K. . 1993. *Thermophilic anaerobic digestion of livestock waste: The effect of ammonia*. s.l. : Applied Microbiology ans Biotechnology, 1993.

Awater-Esper, Stefanie. 2024. top agrar. *Agrarminister einigen sich auf neue Fruchtfolge Regeln in GLÖZ 7.* [Online] 27. Juni 2024. [Zitat vom: 29. Juni 2024.] <https://www.topagrar.com/management-und-politik/news/agrarminister-einigen-sich-auf-neue-fruchtfolge-regeln-in-gloez-7-2004353.html>.

Baab, Gerhard. 2010. poma. [Online] 22. September 2010. [Zitat vom: 29. November 2023.] <https://www.poma-online.de/stickstoff-steuert-das-wachstum,QUIEPTE3OTYzNTImTUIEPTczNjk4.html>.

BASF. 2020. *Gebrauchshinweise Focus Ultra.* s.l. : BASF, 2020.

Bayer. 2022. Was sind die großen Herausforderungen der Landwirtschaft? [Online] 12. April 2022. <https://www.bayer.com/de/de/hsdf-was-sind-die-grossen-herausforderungen-der-landwirtschaft>.

Berkemeier. 2017. Elite. *Hohe DCAB in der Ration für laktierende Kühe.* [Online] 15. Februar 2017. [Zitat vom: 27. März 2024.] <https://www.elite-magazin.de/news/nachrichten/hohe-dcab-der-ration-fur-laktierende-kuhe-11575.html#:~:text=Maissilagen%20weisen%20eine%20durchschnittliche%20DCAB,bis%20600%20meq%2Fkg%20TM!>.

BfJ. 2024. Bundesministerium der Justiz. *Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen² (Düngeverordnung - DüV).* [Online] 2024. [Zitat vom: 29. Mai 2024.] https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/BJNR130510017.html.

BfN. 2024. Naturdetektive - Bundesamt für Naturschutz. *Steckbrief Sonnenblume.* [Online] Bundesamt für Naturschutz, 2024. [Zitat vom: 18. Januar 2024.] <https://naturdetektive.bfn.de/lexikon/zum-lesen/pflanzen/steckbrief-sonnenblume.html>.

BIOaktuell. 2024. BIOaktuell. *Unkrautregulierung - Vorbeugende Maßnahmen.* [Online] FiBL - Forschungsinstitut für biologischen Landbau, 2024. [Zitat vom: 23. Januar 2024.] [https://www.bioaktuell.ch/pflanzenbau/ackerbau/unkrautregulierung/vorbeugende-massnahmen#:~:text=Fruchtfolge,-Verschiedene%20Ackerkulturen%20bedecken&text=Die%20Konkurrenzkraft%20einer%20Ackerkultur%20h%C3%A4ngt,ist%20die%20Dauer%20der%20Abreife..](https://www.bioaktuell.ch/pflanzenbau/ackerbau/unkrautregulierung/vorbeugende-massnahmen#:~:text=Fruchtfolge,-Verschiedene%20Ackerkulturen%20bedecken&text=Die%20Konkurrenzskraft%20einer%20Ackerkultur%20h%C3%A4ngt,ist%20die%20Dauer%20der%20Abreife..)

BLE. 2023. Buundesinformationszentrum Landwirtschaft. *Was bringen die Ökoregelungen im Einzelnen?* [Online] Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), 23. Januar 2023. [Zitat vom: 21. Januar 2024.] <https://www.praxis-agrar.de/betrieb/recht/gap-reform-ab-2023/gap-2023-was-sind-die-grundlagen/was-bringen-die-oekoregelungen-im-einzelnen>.

Blume, Hans-Peter, et al. 2016. *Lehrbuch der Bodenkunde nach Scheffer und Schachtschnabel*. s.l. : Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2016.

BLV. 2024. Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen. *Handelsbezeichnung: Maxim 025 FS*. [Online] 2024. [Zitat vom: 12. März 2024.] <https://www.psm.admin.ch/de/produkte/7112>.

BMEL. 2019. *Diskussionspapier Ackerbaustrategie 2035*. s.l. : Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2019.

BMEL. 2023. *Programm des BMEL zur Fernerkundung*. s.l. : Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2023.

BVL. 2024. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. *Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel*. [Online] 2024. [Zitat vom: 02. Februar 2024.] <https://psm-zulassung.bvl.bund.de/psm/jsp/ListeMain.jsp?page=1&ts=1709478139818>.

BVL. 2024a. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. *Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel*. [Online] 2024a. [Zitat vom: 02. Februar 2024.] <https://psm-zulassung.bvl.bund.de/psm/jsp/ListeMain.jsp?page=1&ts=1709478305891>.

BVL. 2024b. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. *Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel*. [Online] 2024b. [Zitat vom: 02. Februar 2024.] <https://psm-zulassung.bvl.bund.de/psm/jsp/ListeMain.jsp?page=1&ts=1709478413180>.

BVL. 2024c. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. *Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel*. [Online] 2024c. [Zitat vom: 02. Februar 2024.] <https://psm-zulassung.bvl.bund.de/psm/jsp/ListeMain.jsp?page=1&ts=1709478500161>.

D. M. Nassab, A., Amon, T. und Kaul, h.-P. 2011. *Competition and yield in intercrops of maize and sunflower for biogas*. s.l. : University of Tabriz, University of Natural Resources and Life Sciences Vienna, 2011.

DBV. 2024. Deutscher Bauernverband. *Rechtliche Änderungen zum Jahreswechsel 2023/24*. [Online] 2024. [Zitat vom: 20. Januar 2024.] <https://www.bauernverband.de/topartikel/rechtliche-aenderungen-zum-jahreswechsel-2023-24>.

de Kruif, Aart, Mansfeld, Rolf und Hoedemaker, Martina. 2014. *Tierärztliche Bestandsbetreuung beim Milchrind*. s.l. : Enke Verlag, 2014.

Degenhardt, Heinz. 2005. *Nur gesunde Maispflanzen sind ertragreich!* Hamburg : Pioneer Hi-Bred Northern Europe Sales Division GmbH, 2005.

Demirel, B. und Scherer, P. 2008. *The roles of acetotrophic and hydrogenotrophic methanogens during anaerobic conversion of biomass to methane: A review.* s.l. : Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 2008.

Diepenbrock, Wulf, Ellmer, Frank und Léon, Jens. 2012. *Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung.* s.l. : Verlag Eugen Ulmer, 2012.

DMK. 2020. *Mais - Eine Schlüsselkultur zur Umsetzung der Ackerbaustrategie 2035.* Bonn : Deutsches Maiskomitee e.V., 2020.

DMK. 2021. Deutsches Maiskomitee. *Statistik Biogas.* [Online] Juli 2021. [Zitat vom: 17. Januar 2024.] https://www.maiskomitee.de/Fakten/Statistik/Deutschland/Statistik_Biogas.

DMK. 2023. Deutsches Maiskomitee. *Maisanbaufläche Deutschland in ha, 2022 (endgültig) und 2023 (vorläufig)* . [Online] Oktober 2023. [Zitat vom: 02. Dezember 2023.] https://www.maiskomitee.de/backend/data/upload/cmsx/e3014e7c-aa07-41e1-971e-1f6cada3ba05/Maisanbauflaechen_D_je_BL_in_ha_2022-2023_vorlaeufig_20231108.pdf.

DMK. 2023a. Deutsches Maiskomitee. *Mais - Standortansprüche.* [Online] 2023a. [Zitat vom: 30. Dezember 2023.] <https://www.maiskomitee.de/Produktion/Anbau/Standortanspr%C3%BChe>.

DMK. 2024. Deutsches Maiskomitee e.V. *Fakten Morphologie.* [Online] 2024. [Zitat vom: 18. Januar 2024.] <https://www.maiskomitee.de/Fakten/Z%C3%BCchtung/Morphologie>.

DMK. 2024a. Deutsches Maiskomitee e.V. *Verwertung - Tierische Veredlung.* [Online] 2024a. [Zitat vom: 18. Januar 2024.] https://www.maiskomitee.de/Verwertung/Tierische_Veredlung.

DMK. 2024b. Deutsches Maiskomitee e.V. *Aussaat.* [Online] 2024b. [Zitat vom: 01. Januar 2024.] <https://www.maiskomitee.de/Produktion/Anbau/Aussaat>.

Doleschel, Peter und Frahm, Johann. 2014. *Landwirtschaftlicher Pflanzenbau.* München : BLV Buchverlag GmbH & Co. KG, 2014.

Dolk, Jörg. 2022. *Regionalkonferenz zur 1. Säule ab 2023 neue GAP / Konditionalitäten.* Schwerin : Ministerium für Klimaschutz, Landwirtschaft, ländliche Räume und Umwelt MV, 2022.

DSV. 2023. Deutsche Saatveredlung. *Maismischung mit Sorghum.* [Online] 2023. [Zitat vom: 03. Dezember 2023.] <https://www.dsv-saaten.de/produkte/mais/maismischungen/mais-mit-sorghum>.

DWD. 2014. Deutscher Wetterdienst. *Mais - Modellbeschreibung und Interpretationshilfe*. [Online] 16. Juni 2014. [Zitat vom: 02. November 2023.] https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/landwirtschaft/dokumentationen/agrowetter/Mais.pdf?__blob=publicationFile&v=2#:~:text=Hierbei%20werden%20die%20Tageswerte%20der,der%20Vollbl%C3%BCte%20des%20Maises%20herangezogen..

DWD. 2023. Deutscher Wetterdienst. *Lufttemperatur: vieljährige Mittelwerte 1991 - 2020*. [Online] 2023. [Zitat vom: 30. Dezember 2023.] https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/temp_9120_SV_html.html;jsessionid=B7F8C3F259343AB6B257C2053BF7AB5F.live21064?view=na&n=16102.

DWD. 2023a. Deutscher Wetterdienst. *Interaktive Bodenfeuchtekarten und -profile*. [Online] 2023a. [Zitat vom: 30. Dezember 2023.] https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/landwirtschaft/appl/bf_view/_node.html.

DWD. 2024. Deutscher Wetterdienst. *Erläuterungen zur nutzbaren Feldkapazität*. [Online] 2024. [Zitat vom: 10. Januar 2024.] https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/landwirtschaft/dokumentationen/allgemein/basis_einheiten_nfk_doku.html.

Eder, Joachim. 2020. *Projektbericht - Untersuchungen zur Erhöhung der Diversifizierung des Maisanbaus zur Substratproduktion durch den Mischanbau von Mais mit Blühpflanzen und Leguminosen (Phase II)*. Freising : Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2020.

Engelhard, Thomas. 2018. *Bedeutung der DCAB in der Milchkuhfütterung*. s.l. : ZTT Iden, 2018.

EPS. 2024. EPS BHKW GmbH. *Energiepflanzen: Die 7 wichtigsten in der Übersicht*. [Online] 2024. [Zitat vom: 15. März 2024.] <https://eps-bhkw.de/energiepflanzen/>.

Ertekin, Ibrahim. 2023. *Fermentation properties and nutritive value of sunflower ensiled with different mixing ratios of silage maize, sweet corn and sweet sorghum*. Türkei : Hatay Mustafa Kemal University, 2023.

Europäische Kommission. 2024. Europäische Kommission. *Wichtigste politische Ziele der GAP 2023–2027*. [Online] 2024. [Zitat vom: 16. Januar 2024.] https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/cap-overview/cap-2023-27/key-policy-objectives-cap-2023-27_de.

- Fernández, M. C. und Belinque, H. 2008.** Taylos & Francis Group. *Compared Phosphorus Efficiency in Soybean, Sunflower and Maize*. [Online] 2008. [Zitat vom: 30. Januar 2024.] <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01904160903308135>.
- FNR. 2012.** *Biogas*. s.l. : Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 2012.
- FNR. 2016.** *Leitfaden Bioags - Von der Gewinnung zur Nutzung*. s.l. : Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2016.
- FNR. 2024.** Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. *Mais und Stangenbohnen*. [Online] 2024. [Zitat vom: 19. Januar 2024.] <https://pflanzen.fnr.de/projekte/energiepflanzen/mais-und-stangenbohnen>.
- FNR. 2024a.** Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. *Maisanbau in Deutschland*. [Online] 2024a. [Zitat vom: 11. Januar 2024.] <https://mediathek.fnr.de/maisanbau-in-deutschland.html>.
- Freudenberger. 2024.** *Stangenbohnen*. s.l. : Feldsaaten Freudenberger, 2024.
- Freudenberger. 2024a.** *Produktdatenblatt Sonnenblume*. s.l. : Feldsaaten Freudenberger, 2024a.
- Freudenberger. 2024b.** *Produktdatenblatt Sorghumhirse*. s.l. : Feldsaaten Freudenberger, 2024b.
- Fritz, Maendy. 2023.** *Biogassubstrat Sorghum*. Bayern : Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum , 2023.
- Gardify. 2023.** Gardify. *Phaseolus vulgaris - Gartenbohne*. [Online] 2023. [Zitat vom: 30. Dezember 2023.] <https://gardify.de/pflanze/474/Gartenbohne>.
- Gehring, Klaus. 2008.** *Unkrautbekämpfung im Maisanbau*. s.l. : Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft - Institut für Pflanzenschutz, 2008.
- González-Fernández, C., Sialve, B. und Bernet, N. 2012.** *Anaerobic digestion of microalgal biomass: Challenges, opportunities, and research needs*. s.l. : Bioresource Technology, 2012.
- Grimme, Elke. 2023.** Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein. *GAP 2023 - Maisanbau mit Blick auf 2024*. [Online] 2023. [Zitat vom: 26. Dezember 2023.] <https://www.lksh.de/beratung/anbauberatung/gap-gemeinsame-agrarpolitik/>.
- Grimme, Elke. 2024.** *Silomaisgemenge - Hoher Silomaisanteil in der Fruchtfolge*. s.l. : Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein, 2024.

Henkelmann, G. und Stadler, B. 2023. *Moderne Analytik von ELOS in pflanzlichen Rohstoffen im Bioenergie- und Futtermittelbereich.* s.l. : Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2023.

Hermann, C., Heiermann, M. und Idler, C. 2011. *Effects of ensiling, silage additives and storage period on methane formation of biogas crops.* s.l. : Bioresource Technology, 2011.

Herrmann. 2012. *Energiepflanzen für Biogasanlagen.* s.l. : Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 2012.

Hoffmann, Manfred. 2021. *DCAB - eine hilfreiche Kennzahl in Rationen für Milchkühe.* s.l. : Landeskontrollverband Sachsen, 2021.

Holtmann Saaten. 2024. Holtmann Saaten. *Sorghum - Anbau.* [Online] 2024. [Zitat vom: 24. Januar 2024.] <https://holtmann-saaten.de/sorghum-hirse-saatgut/anbau/#:~:text=Jedoch%20sind%20insbesondere%20kalte%20B%C3%B6den,um%20gute%20Ertr%C3%A4ge%20zu%20erzielen..>

Hussain, A., Faraj, J. und Hussien, F. M. 2021. *Effect of pH on the anaerobic digestion process.* 2021.

isip. 2024. Informationssystem Integrierte Pflanzenproduktion e.V. . *Sorghumhirse.* [Online] 2024. [Zitat vom: 21. Januar 2024.] <https://www.isip.de/isip/servlet/isip-de/infothek/mais---gruenland---futterbau/sorghumhirse>.

Ittershagen, Martin. 2013. Umweltbundesamt. *Verlust der Biodiversität im Boden.* [Online] 17.. Juli 2013. [Zitat vom: 05. Dezember 2023.] <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-flaeche/bodenbelastungen/verlust-der-biodiversitaet-im-boden#weitere-forschungsarbeit>.

Jeroch, Heinz, Drochner, Winfried und Simon, Ortwin. 2008. *Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere.* Stuttgart : Verlag Eugen Ulmer, 2008.

Jilg, T., et al. 2021. *Einsatz von Mais-Stangenbohnen-Silage in der Milchviehfütterung, Ergebnisse des Silocontrollings.* s.l. : Deutsches Maiskomitee e.V., 2021.

Jilg, Thomas. 2021. Milchpur. *DCAB-Konzept als Lösung?* [Online] 07. Dezember 2021. [Zitat vom: 31. Dezember 2023.] <https://www.milchpur.de/futter/zusaetze/dcab-konzept-als-loesung/>.

K+S. 2023. K+S Aktiengesellschaft. *Makronährstoff-Stickstoff.* [Online] 2023. [Zitat vom: 29. November 2023.] <https://www.kpluss.com/de-de/geschaeftsfelder-produkte/landwirtschaft/kali-akademie/naehrstoffe/de-stickstoff/#mangelsymptome>.

Kahl, Dorothea. 2023. *Nmin-Richtwerte 2023 - Empfehlung entsprechend Düngeverordnung (DüV) §4 (4).* s.l. : Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung, 2023.

Kirchgeßner, Manfred. 1997. *Tierernährung.* Weihenstephan : DLG Verlags GmbH, 1997.

Kühne, Bertram. 2016. praxisnah. *Trockenstress auf trockenen, sandigen Standorten vermeiden.* [Online] 11. Oktober 2016. [Zitat vom: 23. Januar 2024.] <https://www.praxisnah.de/index.cfm/article/9288.html>.

KWS. 2023. KWS. *Mais-Stangenbohnen-Gemenge.* [Online] 2023. [Zitat vom: 2023. Dezember 03.] <https://www.kws.com/de/de/produkte/mais/mais-bohnen-mischanbau/>.

KWS. 2023a. KWS. *Boden- und Standortansprüche im Mais.* [Online] 2023a. [Zitat vom: 01. Dezember 2023.] <https://www.kws.com/de/de/beratung/aussaat/standortansprueche/mais/>.

KWS. 2023b. KWS. *Anbau und Nutzung von Sorghum – die wichtigsten Infos.* [Online] 2023b. [Zitat vom: 28. Dezember 2023.] <https://www.kws.com/de/de/produkte/sorghum/anbau-und-nutzung-von-sorghum/>.

KWS. 2023c. KWS. *Mais-Sorghum-Gemenge.* [Online] 2023c. [Zitat vom: 27. Dezember 2023.] <https://www.kws.com/de/de/produkte/mais/mais-sorghum-gemenge/>.

KWS. 2023d. KWS. *Mais-Sonnenblumen-Gemenge.* [Online] 2023d. [Zitat vom: 27. dezember 2023.] <https://www.kws.com/de/de/produkte/mais/mais-sonnenblumen-gemenge/>.

KWS. 2024. *Biogas - Grundlagen der Gärbiologie.* Einbeck : s.n., 2024.

Landesportal Sachsen-Anhalt. 2023. *Antwortenkatalog zu den Öko-Regelungen.* s.l. : Staatskanzlei und Ministerium für Kultur Sachsen-Anhalt, 2023.

Lehle, Dr. Eugen. 2023. Landwirtschaftliches Bodenlabor. *Landwirtschaftliche Bodenproben – nicht nur für das Gesetz.* [Online] 2023. [Zitat vom: 2023. Dezember 2023.] <https://www.bodenlabor.de/landwirtschaftliche-bodenuntersuchungen/#:~:text=Die%20Bodenproben%20sind%20ein%20Bestandteil,mindestens%20jedoch%20alle%20sechs%20Jahre..>

Lehtomäki, A., Viinikainen, T. und Rintala, J. 2008. *Screening boreal energy crops and crop residues for methane biofuel production.* s.l. : Biomass ans Bioenegy, 2008.

Leiser, L. 2021. *Mehr Leistung durch Züchtung: Mais-Stangenbohnen-Ergebnisse aus 2019 und 202.* Stuttgart : Universität Hohenheim, 2021.

Lexa. 2022. Lexa. *Vitamine.* [Online] 05. Dezember 2022. [Zitat vom: 06. Januar 2024.] <https://www.lexa-agrar.de/ratgeber/vitamine>.

- LfL. 2013.** *Basisdaten für die Ermittlung des Düngedarfs.* s.l. : Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2013.
- LfL. 2021.** *Versuch zur Lesitungsfähigkeit verschiedener Mais-Bohnenmischungen in Ruhstorf.* Ruhstorf : Bayerischer Landesanstalt für Landwirtschaft, 2021.
- LfL. 2022.** Bayerische landesanstalt für Landwirtschaft. *Neue Anwendungsbeschränkungen für den Terbutylazin-Einsatz in Mais.* [Online] 07. März 2022. [Zitat vom: 02. Februar 2024.] <https://www.lfl.bayern.de/ips/unkraut/297044/index.php>.
- LfL. 2023.** Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. *Bedeutung des Humus für die Bodenfruchtbarkeit.* [Online] 2023. [Zitat vom: 05. Dezember 2023.] <https://www.lfl.bayern.de/iab/boden/031125/>.
- LfULG. 2024.** Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. *Bodengefüge, Bodenstruktur.* [Online] 2024. [Zitat vom: 15. Januar 2024.] <https://www.boden.sachsen.de/bodengefuge-bodenstruktur-18926.html>.
- Li, Sheng-Xiu und Wang, Zhao-Hui. 2011.** Science direct. *Chapter Three - Differences of Some Leguminous and Nonleguminous Crops in Utilization of Soil Phosphorus and Responses to Phosphate Fertilizers.* [Online] 2011. [Zitat vom: 30. Januar 2024.] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780123855312000037>.
- Li, Y., Park, S. und Zhu, J. 2011a.** *Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste.* s.l. : Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011.
- Liebegg. 2022.** *Steckbrief Sonnenblumen.* Gränichen : Landwirtschaftliches Zentrum Liebegg, 2022.
- Liebegg. 2022a.** *Steckbrief Sorghum.* Gränichen : Landwirtschaftliches Zentrum Liebegg, 2022a.
- LKS. 2023.** *Untersuchungsbericht Futtermittelanalyse.* Sachsen : Landwirtschaftliche Kommunikations- und Servicegesellschaft mbH, 2023.
- LKV BB. 2024.** *Untersuchungsprotokoll Maissilage.* Waldsiefersdorf : Landeskontrollverband Berlin-Brandenburg, 2024.
- Lochner, Horst und Breker, Johannes. 2011.** *Grundstufe Landwirt.* s.l. : BLV Buchverlag GmbH, 2011.

LU Harburg e. V. 2023. Arbeitsgemeinschaft für Landberatung e.V. *GAP-Vorgaben für den Anbau von Mischkulturen für den Förderzeitraum ab 2023.* [Online] 19. Oktober 2023. [Zitat vom: 19. Januar 2024.] <https://www.landberatung.de/gap-vorgaben-fuer-den-anbau-von-mischkulturen-fuer-den-foerderzeitraum-ab-2023/>.

LUFA. 2023. *Kenndaten zur Grundfutterqualität bei Silagen.* s.l. : LUFA Nord-West - institut für Futtermittel, 2023.

Luque, R., Campelo, J. und Clark, J. 2011. *Handbook of Biofuels Production.* s.l. : Woodhead Publishing, 2011.

Lütke Entrup, Norbert, et al. 2013. *Handbuch Mais.* Bonn : DLG-Verlag GmbH, 2013.

Mahlkow-Nerge, Katrin und Richardt, Wolfram. 2021. Landwirtschaftliche Kommunikations- und Servicegesellschaft mbH. *Maissilage in Milchkuhrationen: Worauf kommt es an?* [Online] 11. Oktober 2021. [Zitat vom: 31. Dezember 2023.] <https://www.lkvsachsen.de/fuetterungsberater/blogbeitrag/artikel/maissilage-in-milchkuhrationen-worauf-kommt-es-an/>.

Marschner, Petra. 2012. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants - Third Edition.* School of Agriculture, Food and Wine; The University of Adelaide; Australia : s.n., 2012.

meine ernte GmbH. 2023. meine ernte. *Stangenbohne.* [Online] 2023. [Zitat vom: 30. Dezember 2023.] <https://www.meine-ernte.de/pflanzen-a-z/gemuese/stangenbohne/>.

Meyer, Andrea. 2024. Landwirtschaftskammer Niedersachsen. *Mais-Stangenbohnen-Silage für Kühe.* [Online] 2024. [Zitat vom: 13. Januar 2024.] https://www.lwk-niedersachsen.de/lwk/news/38266_Mais-Stangenbohnen-Silage_fuer_Kuehe#:~:text=Auf%20der%20Suche%20nach%20Protein,und%20eine%20gr%C3%B6%C3%9Fere%20Insektenvielfalt%20gesehen..

MLR. 2024. Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg (MLR). *Öko-Regelungen (ÖR).* [Online] 2024. [Zitat vom: 20. Januar 2024.] <https://foerderung.landwirtschaft-bw.de/,Lde/Startseite/Agrarpolitik/Oeko-Regelungen#:~:text=%C3%96R%20%2D%20Anbau%20vielf%C3%A4ltiger%20Kulturen,Regel%20auch%20die%20Agro%2DBiodiversit%C3%A4t..>

MLUK. 2023. *Infobroschüre über die einzuhaltenden Verpflichtungen bei der Konditionalität 2023.* Potsdam : Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz, 2023.

MLUK. 2024. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK). *GAP-Förderperiode 2023 bis 2027.* [Online] 2024. [Zitat vom: 19. Januar 2024.] <https://mluk.brandenburg.de/mluk/de/landwirtschaft/agrarpolitik/neue-gap-foerderperiode-ab-2023/#>.

MLUK. 2024a. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK). *Konditionalität (2023 bis 2027)*. [Online] 2024a. [Zitat vom: 19. Januar 2024.] <https://mluk.brandenburg.de/mluk/de/landwirtschaft/agrarpolitik/neue-gap-foerderperiode-ab-2023/konditionalitaet/>.

MLUK. 2024b. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK). *Direktzahlungen (2023 bis 2027)*. [Online] 2024b. [Zitat vom: 19. Januar 2024.] <https://mluk.brandenburg.de/mluk/de/landwirtschaft/agrarpolitik/neue-gap-foerderperiode-ab-2023/direktzahlungen/>.

MLUK. 2024c. *FAQ-Dokument - Fragen zu den Direktzahlungen der 1. Säule*. s.l. : Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK), 2024c.

Mudhoo, Ackmez. 2019. *Biogas Production: Pretreatment Methods in Anaerobic Digestion*. s.l. : Springer, 2019.

Niehoff, T.-K. 2021. *Einfluss der N-Düngung auf Ertrag, Protein und Rest-Nmin-Werte des Mais-Stangenbohnen-Mischbestandes*. Hannover : Landwirtschaftskammer Niedersachsen, 2021.

Nordhausen, Sina. 2023. Bewital agri. *BEWI-FATRIX® Methionine*. [Online] 2023. [Zitat vom: 15. Dezember 2023.] <https://bewital-agri.de/produkte/bewi-fatrix-methionine/#:~:text=Auch%20Milch%20C3%BChe%20sind%20auf%20die,als%20Hilfsstoff%20im%20Leberfettstoffwechsel%20ben%20C3%B6tigt..>

Panhwar, Qurban Ali. 2019. *Organic farming - Global Perspectives and Methods*. Universiti Putra Malaysia : Woodhead Verlag, 2019.

Pawlik, V. 2024. statista. *Anzahl der Biogasanlagen in Deutschland in den Jahren 1993 bis 2023*. [Online] 03. Januar 2024. [Zitat vom: 17. Januar 2024.] <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/167671/umfrage/anzahl-der-biogasanlagen-in-deutschland-seit-1992/>.

Pioneer. 2016. *Verdaulichkeit von Maissilage*. Buxtehude : Pioneer Hi-Bred Northern Europe Sales Division GmbH, 2016.

Regenstein, Thomas. 2023. Schaumann. *Siliermanagement - Tipps für eine erfolgreiche Maissilierung*. [Online] 2023. [Zitat vom: 28. Dezember 2023.] <https://www.schaumann.de/managementtipps-169/c/siliermanagement-tipps-fur-eine-erfolgreiche-maissilierung-2542>.

reiffeisen. 2024. reiffeisen. *Pflanzenschutzmittel: Redigo M*. [Online] 2024. [Zitat vom: 29. Juli 2024.] <https://www.raiffeisen.com/pflanzenschutzmittel/detail/007996-00>.

reiffeisen. 2024a. reiffeisen. *Pflanzenschutz-manager: Redigo M, Celest.* [Online] 2024. [Zitat vom: 12. März 2024.] <https://www.raiffeisen.com/pflanzenschutzmittel/detail/007996-00>.

Resch, Reinhard. 2023. Saatbau Linz. *Tipps für Maisernte und Top-Maissilage.* [Online] HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 20. September 2023. [Zitat vom: 18. Januar 2024.] [https://www.saatbau.com/at/tipps-fuer-maisernte-und-top-maissilage/#:~:text=Maissilagen%20sollten%20mehr%20als%20300,nicht%20%C3%BCberschreiten%20\(Abbildung%201\)..](https://www.saatbau.com/at/tipps-fuer-maisernte-und-top-maissilage/#:~:text=Maissilagen%20sollten%20mehr%20als%20300,nicht%20%C3%BCberschreiten%20(Abbildung%201)..)

Richardt, Wolfram. 2018. *Futterwerte der Gras- und Maissilagen - Der Grobfutterindex - der Kornzerkleinerungsindex.* 11. Thüringisch-Sächsisches Kolloquium zur Fütterung : LKS Labor, 2018.

Richardt, Wolfram und Häußler, Jörg. 2022. LKS-Landwirtschaftliche Kommunikations- und Servicegesellschaft mbH. *Hinweise zur Ernte und Silierung von Maisganzpflanzen 2022.* [Online] 08. August 2022. [Zitat vom: 28. Dezember 2023.] <https://www.lkvsachsen.de/cs/fuetterungsberater/blogbeitrag/artikel/hinweise-zur-ernte-und-silierung-von-maisganzpflanzen-2022/#:~:text=Die%20Schnitth%C3%B6he%20beeinflusst%20den%20Anteil,Kolbens%20f%C3%BCr%20Silagen%20im%20Hochschnitt..>

Richter, Christian. 2005. *Agrikulturchemie und Pflanzenernährung.* s.l. : Margraf Publishers, 2005.

Romundt, H. 2021. *Mais-Mischanbau - Welche Partner bieten sich an?* Bremervörde : Landwirtschaftskammer Niedersachsen, 2021.

rpgi. 2023. Regierungspräsidium Gießen - Dezernat Pflanzenschutzdienst. *Übersicht über Herbizid-Wirkstoffklassen.* [Online] 15. August 2023. [Zitat vom: 05. Februar 2024.] <https://pflanzenschutzdienst.rp-giessen.de/ackerbau/pflanzenschutzempfehlungen-ackerbau/wintergetreide-allgemein/unkraut-und-ungraskontrolle/uebersicht-ueber-herbizid-wirkstoffklassen/>.

Samarappuli, Dulan und Berti, Marisol T. 2018. *Intercropping forage sorghum with maize is a promising alternative to maize silage for biogas production.* North Dakota, USA : Department of Plant Sciences, 2018.

Schaumann. 2023. *Maissilage-Fibel.* s.l. : Schaumann, 2023.

Scheffer, Fritz und Schachtschnabel, P. 2002. *Lehrbuch der Bodenkunde.* Heidelberg : Spektrum Akademischer Verlag GmbH, 2002.

Schimpf, Dr. Heike und Stolpe, Philipp. 2020. *Richtwertesammlung Düngerecht*. Frankfurt (Oder) : Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung, 2020.

Schmies, Robert. 2021. Gartentalent. [Online] 04.. April 2021. <https://gartentalent.de/blattduengung/boden-ph-wert-und-naehrstoffverfuegbarkeit/#:~:text=Es%20gibt%20nicht%20einen%20optimalen,ein%20gesundes%20Pflanzenwachstum%20am%20h%C3%B6chsten..>

Schubert, Sven. 2011. *Pflanzenernährung - Grundwissen Bachelor*. Stuttgart : Eugen Ulmer KG, 2011.

Schulz, Vanessa. 2022. *Silomais-Gemenge-Anbau - Versuchsergebnisse aus 4 Jahren*. Karlsruhe : Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), 2022.

Schuster, Hubertus, Brandl, Jennifer und Nies, Marion. 2021. *Auf das Verhältnis Kolben zu Restpflanze kommt es an!* s.l. : Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft - Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, 2021.

Simon, Patrik. 2023. information.medien.agrar e.V. *AgriLexikon*. [Online] 2023. <https://www.ima-agrar.de/wissen/agrilexikon/ertrag>.

SMUL. 2023. *Kenndaten zur Grundfutterqualität bei Silagen*. Köllitzsch : Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2023.

Spektrum. 2024. Spektrum.de. *Totwasser*. [Online] 2024. [Zitat vom: 15. Januar 2024.] <https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/totwasser/16806>.

Stitt, Mark. 2024. *Komm ins Beet. Spezialformen der Fotosynthese: C3, C4, CAM*. [Online] Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V., 2024. [Zitat vom: 15. Januar 2024.] <https://www.komm-ins-beet.mpg.de/impressum/>.

StMELF. 2023. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forst und Tourismus. *Häufig gestellte Fragen zu den GLÖZ-Standards*. [Online] 12. Juni 2023. [Zitat vom: 20. Januar 2024.] <https://www.stmelf.bayern.de/foerderung/agrarpolitik/faq-gloe-z-konditionalitaet/index.html>.

TFZ. 2011. *Mais-Sorghum-Mischanbau nach Roggen oder Zottelwicke-Roggen-Gemengen*. Straubing : Technologie- und Förderzentrum, 2011.

Theiß, M., et al. 2018. *Verbesserung der Anbauwürdigkeit von Sorghumhirse*. Nossen : Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, 2018.

Thelemann, Michael, Zeitz, Jutta und Rueß, Liliane. 2024. Humboldt-Universität Berlin - CARLOS - CARbon Learning Online System. *Beschreibung des Humus- und Kohlenstoffgehaltes im Feld.* [Online] Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät und Institut für Biologie an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät I, 2024. [Zitat vom: 10. April 2024.] <https://www.bodenkunde-projekte.hu-berlin.de/carlos/B01feldbeschreibung.html>.

Tiefenthaller, Franz. 2016. *Bedarfsnormen für Milchvieh - Nährstoffe, Mineralstoffe, Vitamine.* s.l. : Landwirtschaftskammer Oberösterreich, 2016.

top agrar. 2020. top agrar. *Leguminosen-Mais-Mischung als Futter für Bienen.* [Online] 21. März 2020. [Zitat vom: 28. Mai 2024.] <https://www.topagrar.com/acker/news/leguminosen-mais-mischung-als-futter-fuer-bienen-12005467.html>.

topagrar. 2023. topagrar online. *Stilllegung und Bodenbedeckung: Vor der Aussaat GLÖZ beachten.* [Online] 04. Dezember 2023. [Zitat vom: 18. januar 2024.] <https://www.topagrar.com/management-und-politik/news/stilllegung-und-bodenbedeckung-vor-der-aussaat-gloez-beachten-c-13453990.html>.

Ulbrich, Manfred, Hoffmann, Manfred und Drochner, Winfried. 2004. *Fütterung und Tiergesundheit.* Stuttgart : Eugen Ulmer Verlag, 2004.

Uni Kassel. 2023. Universität Kassel. *Futtermitteluntersuchung.* [Online] 2023. [Zitat vom: 11. Dezember 2023.] <https://www.uni-kassel.de/fb11agrar/fachgebiete/-/einrichtungen/umweltvertraegliche-tierernaehrung/service-labor/futtermitteluntersuchung>.

van Aerssen, Rainer, Deux, Christian und Gössling, Matthias. 2023. agro results. *Nass-chemische Analyse Standard.* [Online] 2023. [Zitat vom: 11. Dezember 2023.] <https://www.agroresults.de/nass-chemische-analyse-standard.html>.

Ward, A. J., et al. 2008. *Optimisation of the anaerobis digestion of agricultural resources.* s.l. : Bioresource Technology, 2008.

Weiland, P. 2010. *Biogas production: current state and perspectives.* s.l. : Applied Microbiology and Biotechnology, 2010.

Weinhappel, Manfred und Wasner, Josef. 2020. *Sonnenblume.* s.l. : Landwirtschaftskammer Niederösterreich, 2020.

Weinhappel, Manfred, Schally, Mag. Harald und Wiedner, Günther. 2020a. *Sorghumhirse.* St. Pölten : Landwirtschaftskammer Niederösterreich, 2020a.

Wenda-Piesik, Anna und Synowiec, Agnieszka. 2021. *Produktive und ökologische Aspekte des Mischkultursystems.* s.l. : MDPI, 2021.

WetterKontor. 2023. WetterKontor. *Monats- und Jahreswerte für Grünow (bei Prenzlau)*. [Online] 2023. [Zitat vom: 06. Januar 2024.] <https://www.wetterkontor.de/wetter-rueckblick/monats-und-jahreswerte.asp?id=77>.

Wilbois, Klaus-Peter, et al. 2004. *Leitfaden für Praxisversuche*. Frankfurt : BÖL - Bundesprogramm Ökologischer Landbau, 2004.

Wyss, U., Martin, D. und Zemp, A. 2021. *Erträge und Gehalte von Mais-Bohnen-Gemischen mit STangenbohnen oder Helmbohnen*. Schweiz : Bildungszentrum Wallierhof, Forschungsgruppe Wiederkäuer, 2021.

Yara. 2023. *Düngefibel*. s.l. : Yara GmbH & Co. KG, 2023.

Yara. 2023a. effizient düngen - Yara GmbH & Co. KG. *Mais*. [Online] 2023a. [Zitat vom: 31. Dezember 2023.] <https://www.effizientduengen.de/mais/>.

Yara. 2023b. effizient düngen - YARA GmbH & Co. KG. *Ackerbohne*. [Online] 2023b. [Zitat vom: 02. Dezember 2023.] <https://www.effizientduengen.de/ackerbohne/>.

Yara. 2023c. effizient düngen - YARA GmbH & Co. KG. *Sonnenblumen*. [Online] 2023c. [Zitat vom: 01. Dezember 2023.] <https://www.effizientduengen.de/sonnenblumen/>.

Zand, E. und Zschunke, A. 2021. *Bohnenzüchtung zur Optimierung einer langjährigen Partnerschaft - Tagung des Ausschusses Futterkonservierung und Fütterung*. s.l. : Deutsches Maiskomitee e.V., 2021.

Zhang, Fusuo. 2010. Science direct - Nutrient Use Efficiency. *Rhizosphere Processes and Management for Improving Nutrient Use Efficiency and Crop Productivity*. [Online] 2010. [Zitat vom: 30. Januar 2024.] [https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/nutrient-use-efficiency#:~:text=Nutrient%20use%20efficiency%20\(NUE\)%20shows,assimilation%2C%20and%20utilization%20of%20nutrients..](https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/nutrient-use-efficiency#:~:text=Nutrient%20use%20efficiency%20(NUE)%20shows,assimilation%2C%20and%20utilization%20of%20nutrients..)

Anhangsverzeichnis

| <i>Nr.</i> | <i>Bezeichnung</i> | <i>Seite</i> |
|------------|--|--------------|
| 1 | Nmin-Richtwerte Brandenburg 2023 für Mais (KAHL, 2023) | XXIV |
| 2 | Richtwerte von Nährstoffgehalten nach Bodengehaltsklassen für Trockengebiete in Brandenburg (verändert nach SCHIMPF, et al. 2020) | XXIV |
| 3 | Vergleich von Wurzellänge, Wurzelfläche und Wurzeldurchmesser bei Mais, Sojabohne und Sonnenblume im Freilandversuch (Fernández, et al., 2008) | XXV |
| 4 | Herbizid-Wirkstoffe in Mais (verändert nach ANDREAS, et al. (2023) & RPGI (2023)) | XXVI |
| 5 | Herbizide im Mais (ANDREAS, et al., 2023; BVL, 2024) | XXVII |
| 6 | Herbizide in Stangenbohnen (BVL, 2024a) | XXVIII |
| 7 | Herbizide in Sonnenblumen (ANDREAS, et al., 2023; BVL, 2024b) | XXVIII |
| 8 | Herbizide in Sorghum (ANDREAS, et al., 2023; BVL, 2024c) | XXVIII |
| 9 | Bodenfeuchteprofil am Standort Uckerland im Januar 2023 (DWD, 2023a) | XXIX |
| 10 | Bodenfeuchteprofile über den Vegetationszeitraum des Feldversuches (DWD, 2023a) | XXX |
| 11 | Bilder der Aussaat des Feldversuches | XXXI |
| 12 | Bilder der Bonitur am 30. Mai 2023 | XXXII |
| 13 | Bilder der Bonitur am 09. Juni 2023 | XXXIII |
| 14 | Bilder der Unkräuter | XXXV |
| | | XXII |

| | | |
|----|---|--------|
| 15 | Bilder der Bonitur am 19. Juni 2023 | XXXVI |
| 16 | Bilder der Bonitur am 25. Juni 2023 | XXXVII |
| 17 | Bilder der Bonitur am 03. Juli 2023 | XL |
| 18 | Bilder der Bonitur am 18. Juli 2023 | XLIII |
| 19 | Bilder der Bonitur am 02. August 2023 | XLV |
| 20 | Bilder der Bonitur am 14. August 2023 | XLVII |
| 21 | Bilder der Bonitur am 17. September 2023 | XLIX |
| 22 | Bilder der Häckselqualität | L |
| 23 | Bilder der einsilierten Proben in Gläsern | LI |

Anhang

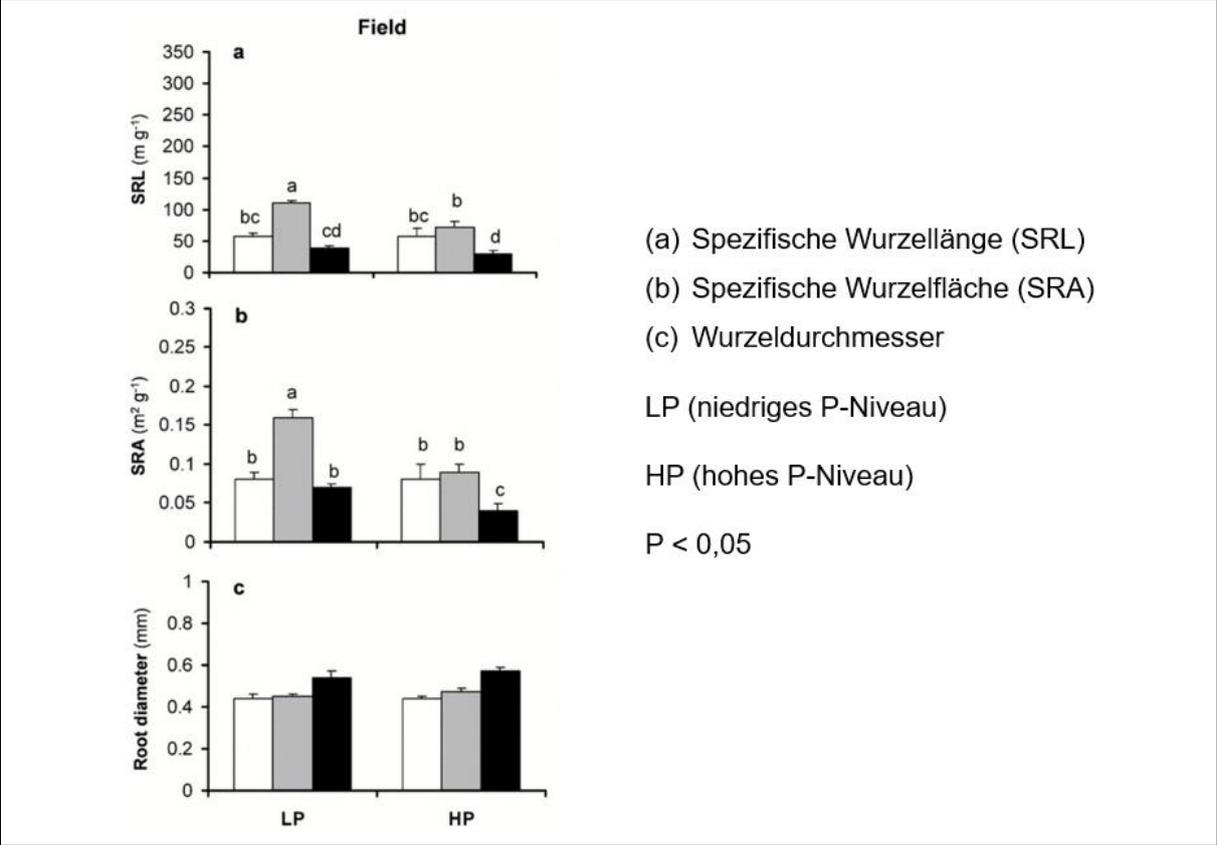
Anhang 1: N_{min}-Richtwerte Brandenburg 2023 für Mais (KAHL, 2023)

| N _{min} (kg/ha) | | | | | | |
|--------------------------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| Bodengruppenart | 0-30 cm | | 31-60 cm | | 61-90 cm | |
| | Richtwert | Spanne | Richtwert | Spanne | Richtwert | Spanne |
| leicht | 15 | 4-93 | 12 | 4-35 | 13 | 4-36 |
| mittel-schwer | 25 | 10-107 | 17 | 7-67 | 14 | 6-54 |

Anhang 2: Richtwerte von Nährstoffgehalten nach Bodengehaltsklassen für Trockengebiete in Brandenburg (verändert nach SCHIMPF, et al. 2020)

| Gehaltsklasse | Bodengehalt im mg/100 g Boden (Trockengebiete) | | |
|---------------|--|---------------|-------------|
| | P | K | Mg |
| A | ≤ 2,8 | ≤ 3,9 | ≤ 2,5 |
| B | > 2,8 – 5,7 | > 3,9 – 7,9 | > 2,5 – 4,5 |
| C | > 5,7 – 8,6 | > 7,9 – 11,9 | > 4,5 – 6,5 |
| D | > 8,6 – 11,5 | > 11,9 – 19,9 | > 6,5 – 8,5 |
| E | > 11,5 | > 19,9 | > 8,5 |

Anhang 3: Vergleich von Wurzellänge, Wurzelfläche und Wurzel Durchmesser bei Mais, Sojabohne und Sonnenblume im Freilandversuch (FERNÁNDEZ, et al., 2008)



Anhang 4: Herbizid-Wirkstoffe in Mais (verändert nach ANDREAS, et al. (2023); RPGI (2023))

| Wirkstoff | Wirkungsmechanismus | HRAC (neu) | HRAC (alt) |
|---|--|---------------|---------------|
| Propaquizafop, Cycloxydim, Fluazifop-P | Hemmung der Acetyl CoA Carboxylase (ACCase) | 1 | A |
| Foramsulferon, Iodosulferon, Nicosulferon, Tritosulferon, Prosulferon, Thiencarbazone | Hemmung der Acetolactat Synthese (ALS) | 2 | B |
| Pentimethalin | Hemmung des Microtubuli-Aufbaus (Zellwachstum) | 3 | K1 |
| Dicamba, Picloram, Clopyralid | Auxin Immitatoren | 4 | O |
| Terbuthylazin | Hemmung der Fotosynthese in Photosystem II | 5 | C1 |
| Clomazone | Carothinsynthese | 13 | F4 |
| S-Metolachlor, Pethoxamid, Flufenacet, Dimethenamid-P | Zellteilungshemmer | 15 | K3 |
| Prosulfocarb | Hemmung der Lipidsynthese | 15 | N |
| Mesotrione, Tembotrione, Isoxaflutol | Hemmung der Hydroxyphenyl- Pyruvate-Dioxygenase | 27 | F2 |
| Aclonifen | Hemmung der Charotinoidsynthese | 32 | S |

Anhang 5: Herbizide im Mais (ANDREAS, et al., 2023; BVL, 2024)

| Mittel (Zulassungsende) | Wirkstoff | AWM ¹ (l o. kg/ha) | BBCH |
|---|---|----------------------------------|--------------|
| Bodenherbizide | | | |
| Aspect (31.12.2025) | Flufenacet, Terbutylazin | 1,5 | 10 – 15 |
| Gardo Gold (23.04.2024) | Terbutylazin, S-Metolachlor | 4,0 | VA/NA |
| Spectrum (30.04.2024) | Dimethenamid-P | 1,4 | 00 – 16 |
| Spectrum Gold (31.12.2024) | Dimethenamid-P, Terbutylazin | 2,0 – 3,0 | VA/NA |
| Spectrum Plus (31.12.2027) | Pendimethalin, Dimethenamid-P | 4,0 | VA / 10 – 16 |
| Stomp Aqua (30.06.2024) | Pendimethalin | 3,5 – 4,4 | VA/NA |
| Successor T (31.12.2024) | Terbutylazin, Pethoxamid | 4,0 | 10 – 14 |
| vorwiegend blattaktive Herbizide | | | |
| Arrat + Dash E.C. (30.11.2024) | Dicamba, Tritosulfuron | 0,2 + 1,0 | NA |
| Diniro + Adigor (31.07.2025) | Prosulfuron, Dicamba, Nicosulfuron | 0,4 + 1,2 | 12 – 18 |
| Elumis (31.12.2024) | Nicosulfuron, Mesotrione | 1,5 | 12 – 18 |
| Laudis (31.12.2024) | Tembotrione | 2,25 | 12 – 18 |
| boden- und blattaktive Herbizide | | | |
| Adengo (31.12.2026) | Isoxaflutol, Thiencarbazon | 0,33 | VA / 10 – 13 |
| Calaris (31.12.2025) | Mesotrione, Terbutylazin | 1,5 | 11 – 18 |
| MaisTer power (31.12.2025) | Iodosulfuron, Foramsulfuron, Thiencarbazon | 1,0 – 1,5 | 12 – 16 |
| Spezialherbizide | | | |
| Effigo (31.12.2026) | Picloram, Clopyralid | 0,35 | b 10 |
| Mais-Banvel WG (31.12.2026) | Dicamba | 0,5 | bis 16 |
| Focus Ultra ² (31.12.2025) | Cycloxydim | 2,0 | 11 – 18 |

¹AWM = Aufwandmenge ²(BASF, 2020), nur bei cycloxydim-resistenten Maissorten einsetzbar

Anhang 6: Herbizide in Stangenbohnen (BVL, 2024a)

| Mittel | Wirkstoff | AWM* (l o. kg/ha) | BBCH |
|--------------------------|----------------|----------------------|---------|
| Cadou SC (31.10.2024) | Flufenacet | 0,48 | VA |
| Centium CS (31.12.2025) | Clomazone | 0,25 | VA |
| Focus Ultra (31.12.2025) | Cyloxydim | 2,0 | 11 – 34 |
| Spectrum (30.04.2024) | Dimethenamid-P | 1,0 | VA |
| Stomp Aqua (30.06.2024) | Pendimethalin | 3,5 | VA |

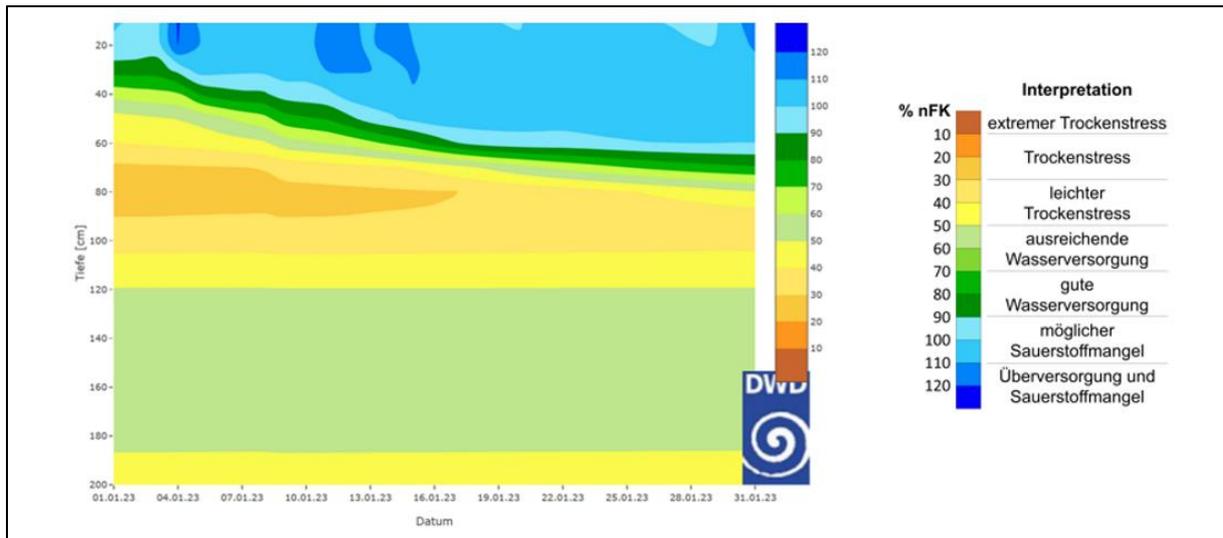
Anhang 7: Herbizide in Sonnenblumen (ANDREAS, et al., 2023; BVL, 2024b)

| Mittel | Wirkstoff | AWM* (l o. kg/ha) | BBCH |
|----------------------------|----------------------------------|----------------------|---------|
| Agil-S (30.11.2024) | Propaquizafop | 0,75 | 13 – 39 |
| Bandur (31.12.2024) | Aclonifen | 4,0 | VA |
| Boxer (30.04.2024) | Prosulfocarb | 5,0 | VA |
| Focus Ultra (31.12.2025) | Cyloxydim | 2,5 + 1,0 | 11 – 39 |
| Fusilade Max (31.12.2024) | Fluazifop-P | 1,0 | bis 19 |
| Spectrum (30.04.2024) | Dimethenamid-P | 0,8 - 1,2 | VA – 09 |
| Spectrum Plus (31.12.2027) | Pendimethalin, Dimethenamid-P | 4,0 | VA – 09 |
| Stomp Aqua (30.06.2024) | Pendimethalin | 2,6 | VA |

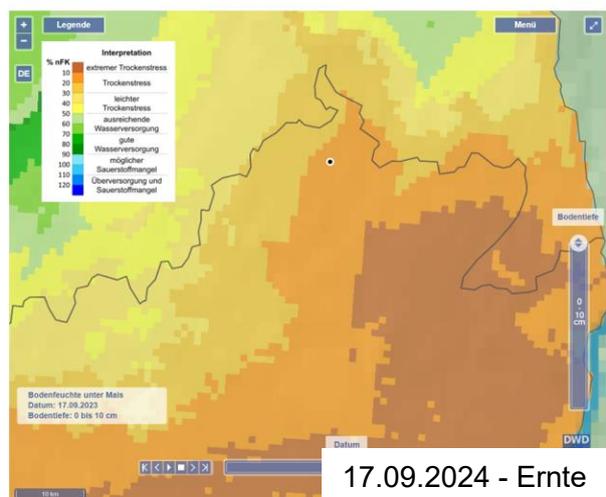
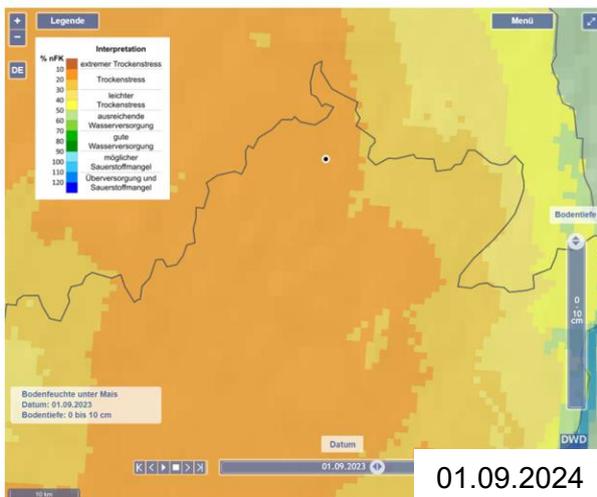
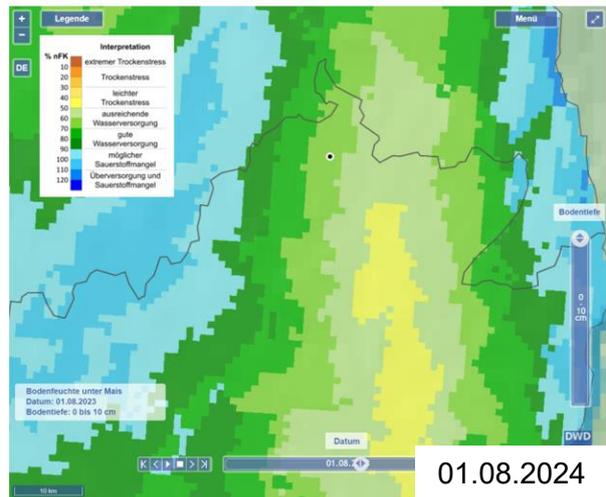
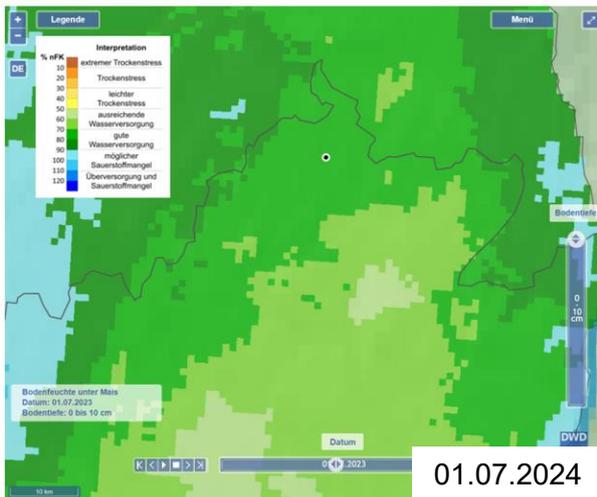
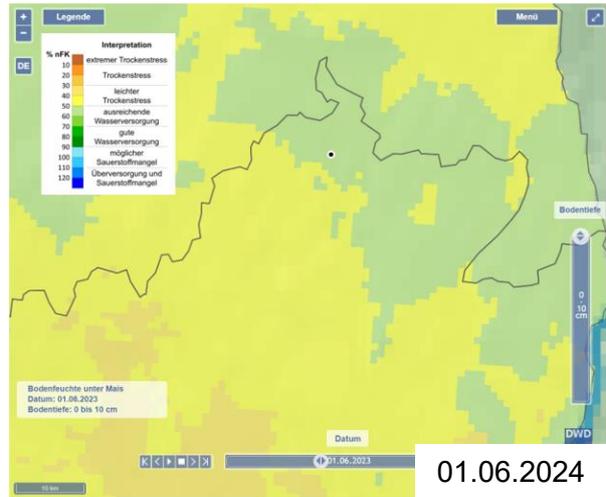
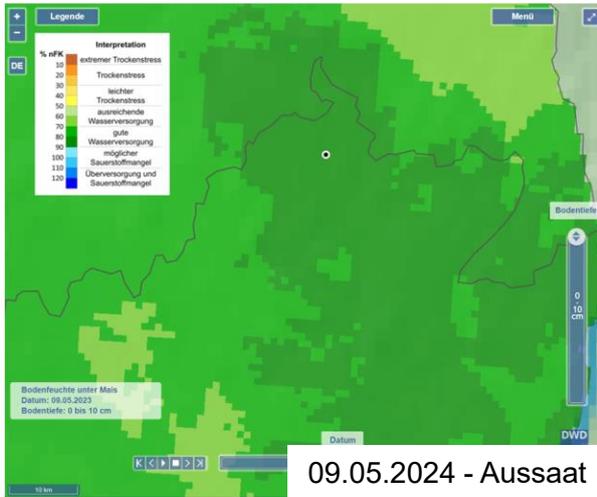
Anhang 8: Herbizide in Sorghum (ANDREAS, et al., 2023; BVL, 2024c)

| Mittel | Wirkstoff | AWM* (l o. kg/ha) | BBCH |
|---|------------------------------|----------------------|----------|
| Bodenherbizide | | | |
| Gardo Gold (23.04.2024) | Terbuthylazin, S-Metolachlor | 4,0 | NA ab 13 |
| Spectrum (30.04.2024) | Dimethenamid-P | 1,2 | NA ab 13 |
| Stomp Aqua (30.06.2024) | Pendimethalin | 2,5 | VA/NA |
| vorwiegend blattaktive Herbizide | | | |
| Arrat + Dash E.C.** (30.11.2024) | Dicamba, Tritosulfuron | 0,2 + 1,0 | NA ab 13 |
| Spezialherbizide | | | |
| Mais-Banvel WG (31.12.2026) | Dicamba | 0,5 | NA ab 13 |

Anhang 9: Bodenfeuchteprofil am Standort Uckerland im Januar 2023 (DWD, 2023a)



Anhang 10: Bodenfeuchteprofile über den Vegetationszeitraum des Feldversuches (DWD, 2023a)



Anhang 11: Bilder der Aussaat des Feldversuches



Abbildung 1: Sämaschine der Firma BioChem agrar GmbH



Abbildung 2: Sicht auf den Feldversuch nach der Aussaat

Anhang 12: Bilder der Bonitur am 30. Mai 2023



Abbildung 1: Variante M-Stabo



Abbildung 2: Variante M-Stabo



Abbildung 3: Variante M-Stabo

Anhang 13: Bilder der Bonitur am 09. Juni 2023



Abbildung 1: Variante M-solo



Abbildung 2: Variante M-Stabo



Abbildung 3: Variante M-Stabo



Abbildung 4: Variante M-Stabo



Abbildung 5: Variante M-Soblu



Abbildung 6: Variante M-Soblu



Abbildung 7: Variante M-Sorgh

Anhang 14: Bilder der Unkräuter



Abbildung 1: Kamille



Abbildung 2: Hühnerhirse



Abbildung 3: Klettenlabkraut



Abbildung 4: Windknöterich

Anhang 15: Bilder der Bonitur am 19. Juni 2023



Abbildung 1: Variante M-Stabo



Abbildung 2: Variante M-Soblu



Abbildung 3: Variante M-solo

Anhang 16: Bilder der Bonitur am 25. Juni 2023



Abbildung 1: Ausbringung von Dufttüchern und Tierhaaren zum Schutz vor Rotwild



Abbildung 2: Variante M-solo



Abbildung 3: Variante M-solo



Abbildung 4: Variante M-solo (links: Stadium nach Aussaat am 09. Mai 2023, rechts: Stadium der Nachsaat)



Abbildung 5: Variante M-Soblu



Abbildung 6: Variante M-Soblu - Fraßschäden



Abbildung 7: Variante M-Sorg

Anhang 17: Bilder der Bonitur am 03. Juli 2023



Abbildung 1: Variante M-solo



Abbildung 2: Variante M-Stabo



Abbildung 3: Variante M-Stabo



Abbildung 4: Variante M-Soblu



Abbildung 5: Variante M-Soblu



Abbildung 6: mehrere Varianten (links: M-Stabo, Mitte: M-Soblu, rechts: M-Sorg)



Abbildung 7: mehrere Varianten (links: M-Stabo, Mitte: M-Soblu, rechts: M-Sorg)



Abbildung 8: Variante M-Sorg

Anhang 18: Bilder der Bonitur am 18. Juli 2023



Abbildung 1: Variante M-solo



Abbildung 2: Variante M-Stabo



Abbildung 3: Variante M-Soblu



Abbildung 4: mehrere Varianten (links: M-solo, rechts: M-Stabo)



Abbildung 5: mehrere Varianten (links: M-Stabo, rechts: M-Soblu)



Abbildung 6: mehrere Varianten (links: M-Stabo, Mitte: M-Soblu, rechts: M-Sorg)

Anhang 19: Bilder der Bonitur am 02. August 2023



Abbildung 1: mehrere Varianten (links: M-Stabo, rechts: M-Soblu)



Abbildung 2: Variante M-Sorg



Abbildung 3: Variante M-solo



Abbildung 4: Variante M-Stabo



Abbildung 5: Variante M-Soblu

Anhang 20: Bilder der Bonitur am 14. August 2023



Abbildung 1: Variante M-solo



Abbildung 2: Variante M-Stabo



Abbildung 3: Variante M-Soblu



Abbildung 4: Variante M-Soblu – Schäden durch Hasen und Rotwild

Anhang 21: Bilder der Bonitur am 17. September 2023



Abbildung 1: Variante M-solo



Abbildung 2: Variante M-Stabo

Anhang 22: Bilder der Häckselqualität



Anhang 23: Bilder der einsiliierten Proben in Gläsern



Selbstständigkeitserklärung

Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht in einem anderen Studiengang als Prüfungsleistung vorgelegt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen (einschließlich der angegebenen oder beschriebenen Software) benutzt haben.

Bernburg, den 25.08.2024

Linda Hoffmann