



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Hochschule Neubrandenburg
Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Masterthesis

Mais im konventionellen Anbau sowie in Dämmen
Ein Verfahrensvergleich im Feldversuch

Vorgelegt von Mathis Helms,

urn:nbn:de:gbv:519-thesis2020-0052-1

Neubrandenburg, im Oktober 2020

Erster Prüfer: Prof. Dr. Eike Dobers

Zweiter Prüfer: Prof. Dr. Bernhard Seggewiß

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
1. Einleitung.....	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielstellung der Arbeit	2
1.3 Vorgehensweise	2
2. Literaturübersicht	3
2.1 Kulturpflanze Mais	3
2.1.1 Systematik und Herkunft.....	3
2.1.2 Anbaubedeutung.....	4
2.1.3 BBCH-Stadien.....	5
2.1.4 Sortenwahl und Aussaatstärke	6
2.1.5 Reihenabstand	7
2.2 Dammsysteme	9
2.2.1 Entstehung.....	9
2.2.2 Dammkultur-Typen.....	9
2.2.3 Versuchsergebnisse im Dammkulturanbau	10
3. Material und Methoden.....	14
3.1 Standortbeschreibung.....	14
3.1.1 Schlag-Beschreibung „Dorf“	14
3.1.2 Schlag-Beschreibung „Park“	16
3.1.3 Witterungsverlauf am Versuchsstandort	17
3.2 Auswahl der Boniturparzellen	19
3.3 Maßnahmen vor der Aussaat.....	21
3.4 Aussaat	22
3.4.1 Technik konventionelles Verfahren	22
3.4.2 Technik Dammkultur	23
3.4.3 Sortenwahl & Aussaatstärke	24
3.4.4 Reihenabstand	25
3.5 Bestandsführung.....	26
3.5.1 Düngung	26

3.5.2 Pflanzenschutz.....	27
3.6 Bonituren.....	28
3.6.1 Temperaturlogger	28
3.6.2 Feldaufgang.....	28
3.6.3 Pflanzenentwicklung	29
3.6.4 Pflanzenanalyse	29
3.6.5 Bestockung	29
3.6.6 Ertrag.....	30
3.7 Statistische Auswertung.....	30
4. Ergebnisse.....	32
4.1 Temperaturlogger.....	32
4.2 Feldaufgang.....	34
4.3 Pflanzenentwicklung	36
4.4 Pflanzenanalyse.....	38
4.5 Bestockung.....	42
4.6 Ertrag.....	43
4.7 Zusammenhänge von Eigenschaften.....	45
4.7.1 Feldaufgang und Pflanzenentwicklung	45
4.7.2 Bestockung und Pflanzenentwicklung	46
5. Wirtschaftlichkeit	47
6. Diskussion	49
6.1 Einfluss des Faktors Aussaatvariante.....	49
6.2 Zusammenhänge von Eigenschaften.....	53
6.3 Wirtschaftlichkeit.....	54
7. Zusammenfassung	55
Literaturverzeichnis	57
Anhang.....	60
Eidesstattliche Erklärung.....	61

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: BBCH-Stadien von Mais (BASF 2013)
- Abb. 2: Mais in Dammkultur (links) & Mais in Flachkultur (rechts) (Kristensen und Sorensen 2006)
- Abb. 3: Versuchsfläche „Dorf“ (Eigendarstellung in QGIS)
- Abb. 4: Versuchsfläche „Park“ (Eigendarstellung in QGIS)
- Abb. 5: Witterungsverlauf im Zeitraum vom 04.04.2019 bis 04.10.2019 am Versuchsstandort (proPlant expert.classic 2019; eigene Darstellung)
- Abb. 6: Versuchsfläche „Dorf“ mit Boniturparzellen (weiß) (Eigendarstellung in QGIS)
- Abb. 7: Versuchsfläche „Park“ mit Boniturparzellen (weiß) (Eigendarstellung in QGIS)
- Abb. 8: Horsch Maestro 12.45 CX des LU Blunk (eigene Darstellung)
- Abb. 9: Spezialmaschine „Dammprofi“ für den Dammkulturanbau (eigene Darstellung)
- Abb. 10: Einfluss des Faktor „Aussaatvariante“ auf die Bodentemperatur beim Maisanbau auf Versuchsfläche „Dorf“. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)
- Abb. 11: Einfluss des Faktor „Aussaatvariante“ auf die Bodentemperatur beim Maisanbau auf Versuchsfläche „Park“. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)
- Abb. 12: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf den Feldaufgang (Pflanzen / ha) bei Mais auf zwei verschiedenen Versuchsflächen am 07.05.2019. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)
- Abb. 13: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf den Feldaufgang (Pflanzen / ha) bei Mais auf zwei verschiedenen Versuchsflächen und Kennzeichnung der angestrebten Aussaatstärke (grüne Horizontallinie) am 17.05.2019. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)
- Abb. 14: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf das Blattstadium bei Mais auf zwei verschiedenen Versuchsflächen am 31.05.2019. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)
- Abb. 15: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf das Blattstadium bei Mais auf zwei verschiedenen Versuchsflächen am 17.06.2019. $\alpha = 0,05$; T = tendenzielle Unterschiede ($0,05 < p < 0,10$) (eigene Darstellung)
- Abb. 16: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf das Blattstadium bei Mais auf zwei verschiedenen Versuchsflächen am 07.07.2019. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)
- Abb. 17: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf den Trockenmasseertrag bei Mais auf zwei verschiedenen Versuchsflächen am 12.06.2019. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)
- Abb. 18: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf den Trockenmasseertrag bei Mais auf zwei verschiedenen Versuchsflächen am 10.07.2019. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)
- Abb. 19: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf den Trockenmasseertrag bei Mais auf zwei verschiedenen Versuchsflächen am 02.09.2019. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)

- Abb. 20: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf den Trockenmasseertrag der Kolben bei Mais auf zwei verschiedenen Versuchsflächen am 02.09.2019. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)
- Abb. 21: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf den Stickstoff- und Kaliumgehalt in Maispflanzen gemittelt über zwei verschiedene Versuchsflächen am 12.06.2019. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)
- Abb. 22: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf den Phosphor- und Schwefelgehalt in Maispflanzen gemittelt über zwei verschiedene Versuchsflächen am 12.06.2019. $\alpha = 0,05$; T = tendenzielle Unterschiede ($0,05 < p < 0,10$) (eigene Darstellung)
- Abb. 23: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf den Bor- und Zinkgehalt in Maispflanzen gemittelt über zwei verschiedene Versuchsflächen am 12.06.2019. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)
- Abb. 24: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf die Anzahl unbestockter Pflanzen bei Mais auf zwei verschiedenen Versuchsflächen am 20.06.2019. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)
- Abb. 25: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf den Frischmasseertrag bei Mais auf zwei verschiedenen Versuchsflächen am 20.06.2019. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)
- Abb. 26: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf den Trockenmasseertrag (LUFA) bei Mais auf zwei verschiedenen Versuchsflächen am 20.06.2019. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)
- Abb. 27: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf den Trockenmasseertrag (HarvestLab) bei Mais auf zwei verschiedenen Versuchsflächen am 20.06.2019. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)
- Abb. 28: Zusammenhang der im höchstmöglichen Blattstadium befindlichen Maispflanzen (Pflanzen / ha) und dem Feldaufgang am 17.05.2019 (Pflanzen / ha) auf Versuchsfläche „Dorf“; * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)
- Abb. 29: Zusammenhang der im höchstmöglichen Blattstadium befindlichen Maispflanzen (Pflanzen / ha) und dem Feldaufgang am 17.05.2019 (Pflanzen / ha) auf Versuchsfläche „Park“; (T) = tendenzielle Unterschiede ($0,05 < \alpha < 0,10$) (eigene Darstellung)
- Abb. 30: Zusammenhang der im höchstmöglichen Blattstadium befindlichen Maispflanzen (Pflanzen / ha) und den bestockten Maispflanzen (Pflanzen / ha) auf Versuchsfläche „Dorf“; * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)
- Abb. 31: Zusammenhang der im höchstmöglichen Blattstadium befindlichen Maispflanzen (Pflanzen / ha) und dem Feldaufgang am 17.05.2019 (Pflanzen / ha) auf Versuchsfläche „Park“; n.s. = nicht signifikant (eigene Darstellung)
- Abb. 32: Wurzelballen einer Maispflanze aus konventionellem Verfahren (links) und einer Maispflanze aus Dammkultur (rechts) (eigene Darstellung)

Abb. 33: Versuchsfläche „Park“ nach Starkniederschlag – konventionelle Parzelle (links) & Dammkultur (rechts) (eigene Darstellung)

Tabellenverzeichnis

- Tab. 1: Empfehlung für die anzustrebende Bestandesdichte (nach Zscheischler et al. 1990)
- Tab. 2: Erträge 2004 (rel. Vergleich) (LWK NS 2010)
- Tab. 3: Futterqualitäten 2004 (rel. Vergleich) (Meyercordt und Mücke 2006)
- Tab. 4: Klassifizierung unterschiedlicher Böden (nach BMF 2015)
- Tab. 5: Übersicht der Parzellen je Schlag und der Wiederholungen je Parzelle (eigene Darstellung)
- Tab. 6: Düngungsmaßnahmen mit Nährstoffgehalten auf den Versuchsflächen (eigene Darstellung)
- Tab. 7: Pflanzenschutzmaßnahmen auf den Versuchsflächen (eigene Darstellung)
- Tab. 8: Tagesdurchschnittstemperaturen und Temperatursumme der auf Saatkortiefe platzierten Temperaturlogger auf den Versuchsschläge „Dorf“ und „Park“ (eigene Darstellung)
- Tab. 9: Ernteerträge (FM) beider Versuchsschläge (eigene Darstellung; Ertragsdaten nicht statistisch absicherbar)
- Tab. 10: Kostenkalkulation beider Verfahren (eigene Darstellung)

Abkürzungsverzeichnis

BZE	Bereinigter Zuckerertrag
CC(-Auflagen)	Cross Compliance(-Auflagen)
CCM	Corn-Cob-Mix (Spindel & Körner des Maiskolbens)
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
FM	Frischmasse
GK	Gehaltsklasse
LUFA	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt
NawaRo	Nachwachsender Rohstoff
TM	Trockenmasse
TS	Trockensubstanz

1. Einleitung

Die Getreidepflanze Mais ist die wirtschaftlich bedeutendste Kultur in ackerbaulichen Anbausystemen. Durch eine deutliche Anbauausweitung nimmt Mais seit dem Jahr 2001 kontinuierlich die wichtigste Stellung in der weltweiten Pflanzenerzeugung ein. Mit der globalen Produktionssteigerung von 0,6 Mrd. t (2001) auf 1,1 Mrd. t (2017) wird dies deutlich (FAOSTAT 2019). In Deutschland entspricht der Anbauanteil von Mais heute 23,4 % (2,74 Mio. ha). Außerdem gilt Mais durch den Rückgang im Rapsanbau von 1,22 Mio. ha (2018) auf 0,88 Mio. ha (2019) als wichtige Blattfruchtalternative, da 40 % des Rückgangs in der Rapsanbaufläche durch Mais ersetzt wird (Destatis 2019). Aufgrund erfolgreicher Qualitätszüchtung ist Silomais, welcher mit etwa 35 % TS als Ganzpflanze gehäckselt wird, durch günstige Energie- und Nährstoffgehalte bereits jahrzehntelang wichtiger Faktor in der Tierfütterung und Biogasproduktion. Der flächenmäßig weniger angebaute Körnermais, bei dem nur die etwa 32 % feuchten Körner des Kolbens geerntet werden, hat durch hohe Stärkeanteile vor allem in der Humanernährung und industriellen Weiterverarbeitung (Papierherstellung, Textilindustrie, Chemikalien- und Pharmazeutikaherstellung) seine Abnehmer.

1.1 Problemstellung

Aufgrund des hohen Stellenwertes von Mais, sowohl in Deutschland als auch weltweit, gilt es aus betrieblicher Sicht das beste System zur Bodenbearbeitung und Bestellung ausfindig zu machen. Grundsätzlich kann die Bodenbearbeitung wendend (konventionell) oder nichtwendend (konservierend) erfolgen. Die Aussaat kann auf diese folgen, mit ihr kombiniert sein oder ohne jegliche Bodenbearbeitung als Direktsaat durchgeführt werden (KTBL 2015). Ein weiteres Verfahren, welches jedoch weniger häufig Verwendung findet, ist das Dammkultur- System. Wie auch die anderen Anbauverfahren gibt es die Dammsaat bereits mehrere Jahrzehnte lang, es konnte sich jedoch vor allem wegen arbeitswirtschaftlicher Kriterien noch nicht durchsetzen. Die verschiedenen Typen dieses Systems unterscheiden sich unter anderem in der Art der Bodenbearbeitung und der Dammformung. Gemein haben sie jedoch die Anlage eines Saatbettes oberhalb der eigentlichen natürlichen Bodenoberfläche durch Anhäufeln der Erde zum Damm (Hatfield et al. 1998). Die Wahl des Anbauverfahrens muss immer betriebsindividuell entschieden werden, da neben den pflanzenbaulichen immer auch betriebswirtschaftliche und technische Kriterien eine Rolle spielen.

1.2 Zielstellung der Arbeit

Aufgrund der oben angesprochenen Bedeutsamkeit von Mais in ackerbaulichen Fruchtfolgen, ist die Wahl eines standortangepassten Anbausystems von großer Relevanz. Ziel dieser Arbeit ist es, zum einen neue pflanzenbauliche, als auch ferner betriebswirtschaftliche sowie technische Erkenntnisse über den Silomaisanbau zu erlangen, indem ein Vergleich im Feldversuch zweier Maisanbausysteme durchgeführt werden soll. Am Standort Gehmkendorf (Landkreis Rostock in Mecklenburg- Vorpommern) wird hierfür das betriebsübliche Verfahren – Pflug zur Grundbodenbearbeitung und Einzelkorndrillmaschine zur Aussaat – mit dem neuen Verfahren, einer Maschinenkombination aus Tiefenlockerer, Häufelkörper und Einzelkorndrillmaschine, verglichen. Dafür wird auf einem 16 ha und 29 ha Ackerschlag jeweils Mais auf etwa 6 ha in Dammkultur angelegt und mit dem konventionellen System verglichen. Im Vordergrund der Arbeit soll der pflanzenbauliche Vergleich beider Verfahren stehen.

1.3 Vorgehensweise

In der Literaturübersicht in Kapitel 2 werden zunächst grundlegende Punkte zur Pflanze Mais, wie Systematik und Anbaubedeutung, beschrieben. Anschließend wird sich mit den zwei, im Feldversuch zur Anwendung kommenden, Anbauverfahren beschäftigt. Im Kapitel 3 werden dann Material und Methode erläutert, wobei die beiden Anbausysteme und deren unterschiedliche Verfahrensweisen, als auch die Konstellation der Versuchsflächen und deren Boniturparzellen dargestellt werden. Weiterhin werden alle Programme und Verfahren, die zur Auswertung erhobener Daten genutzt werden, beschrieben. Weiterhin werden in Kapitel 4 alle Ergebnisse und Berechnungen aus den erhobenen Daten im Feldversuch zusammengefasst, miteinander verglichen und eine Kostenschätzung der beiden Maisanbauverfahren dargelegt. Am Ende dieser Arbeit werden die Ergebnisse diskutiert und durch ein Fazit abschließend in den Kontext eingeordnet.

2. Literaturübersicht

2.1 Kulturpflanze Mais

2.1.1 Systematik und Herkunft

Der Mais ist eine Pflanzenart aus der Familie der Süßgräser (Poaceae). Alle kultivierten Maisformen gehören der gleichen botanischen Art *Zea mays* L. an, welche in den Stamm der *Tripsaceae* oder *Maydeae* der großen Pflanzenfamilie der *Gramineae* eingeordnet sind. Neben dem Kulturmais umfasst die Gattung *Zea* noch die Arten *Zea perennis* L. als mehrjährige Form und *Zea mexicana* L. als Wildform (Gale und Devos 1998). Weltweit existieren noch etwa 250 Rassen mit unterschiedlichen Genpools. In Deutschland werden fast ausschließlich Sorten aus den Genpools „Northern Flint“ und „Cornbelt Dent“ angebaut, welche sich vor allem hinsichtlich ihrer Kornmerkmale voneinander unterscheiden (Lütke Entrup et al. 2013). Als Ursprungsland des Mais gilt das heutige Mexiko, da man bei mehreren Ausgrabungen auf Überreste gestoßen ist. So wurden z.B. 1954 bei Versuchsbohrungen in Mexiko-Stadt Pollenkörner von Mais (*Zea*) und deren nahen Verwandten *Gamagrass* (*Tripsacum*) und Teosinte (*Zea mexicana*) in 80 m Tiefe gefunden, deren Alter von Geologen auf 80.000 Jahre geschätzt wird. In New Mexico konnten 1948/1950 bei Höhlengrabungen Überreste von Maispflanzen, vor allem fossile Maisspindeln, gefunden werden. Deren Ursprung wird auf die Zeit von 5200-3400 Jahre v. Chr. geschätzt, da die Messungen des Zerfalls von radioaktivem Kohlenstoff beiliegender Holzkohlereste dies ergaben. Von Mexiko breitete sich Mais dann südlich nach Argentinien und nördlich in Richtung Kanada aus. Die wohl wahrscheinlichste Theorie zur Abstammung von *Zea mays* geht auf deren Verwandte Teosinte zurück, welche ebenso wie Mais 10 Chromosomen besitzt (Zscheischler et al. 1990). In Folge der Domestikation, und der damit einhergehenden Selektion, wurden insgesamt nur fünf Merkmale von Teosinte verändert, bis der uns heute bekannte Mais entstanden war. Dabei handelt es sich um die Merkmale: Verzweigungsmuster, Spindelbrüchigkeit, Hartschaligkeit der Spelzen, Viel-Zeiligkeit der Samenanordnung und einzelne vs. gepaarte Ährchen. Nach Europa kam der Mais mit Kolumbus, der vor 500 Jahren nach Amerika und in die Karibik reiste und von dort aus Getreide namens „Mahiz“ mitbrachte (Lütke Entrup et al. 2013).

2.1.2 Anbaubedeutung

In Deutschland begann der Anbau als Feldfrucht vereinzelt im Süden im 16. Jh. Interessanter wurde die stärke liefernde Maispflanze dann im 19. Jh., als Bauern große Ausfälle der Kartoffelernte zu verzeichnen hatten. Durch die im Jahr 1910 entdeckte, bis heute genutzte, Kreuzungstechnik, die Hybridzüchtung, gelang es, dem Maisanbau aus züchtungstechnischer Sicht einen deutlichen Vorteil zu verschaffen (Lütke Entrup et al. 2013). Der Maisanbau erfuhr immer mal wieder Hochphasen durch einzelne z.B. politische Entscheidungen, wie die Förderung des Anbaus im Rahmen der „Erzeugungsschlacht“ von 1933-1938. Dadurch stieg der Flächenanteil von 3.697 ha auf 59.394 ha. Flächendeckend durchsetzen konnte sich der Anbau von Mais jedoch erst ab den 1960er Jahren, nachdem sich Maishybride etabliert hatten, Triazine 1952 zur chemischen Unkrautbekämpfung entdeckt wurden und eine allmähliche vollmechanisierte Technik zur Aussaat wie auch Ernte zur Verfügung standen. Vor allem aufgrund von Ertragssteigerungen und der steigenden Verwertungsmöglichkeiten, neben Körnermais zur Humanernährung auch Silomais bzw. CCM zur Tierfütterung, nahm die Feldfrucht 1988 bereits 15,4 % der Ackerfläche ein und war drittwichtigste Frucht in der BRD. Jedoch war bereits zu dieser Zeit die Nutzung von Mais als Ganzpflanze zu Fütterungszwecken mit 83 % wesentlich wichtiger als die des Körnermais. Heute entspricht der Maisanbauanteil in Deutschland 23,4 %, wovon der Körnermais nur etwa 3,8 % ausmacht (Zscheischler et al. 1990). Etwa 106.500 landwirtschaftliche Betriebe bauen Silomais einschließlich Energiemais an, was nach Angaben des DMK (2017) ca. 51,7 % aller Betriebe mit Ackerland entspricht. Energiemais, der zur Methan- und darauffolgenden Stromerzeugung dient, hat großen Anteil am Anbautrend von Mais, da durch das EEG von 2004 erstmals ein NawaRo-Bonus für Biogasbetreiber ausgezahlt wurde.

2.1.3 BBCH-Stadien

Wie auch bei allen anderen mono- und dikotylen Pflanzen im deutschsprachigen Raum, wird die Entwicklung von Mais nach einer erweiterten BBCH-Skala charakterisiert. Zur einheitlichen Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien wurde eine Dezimalskala mit Makro- und Mikrostadien entwickelt (Meier 2018).

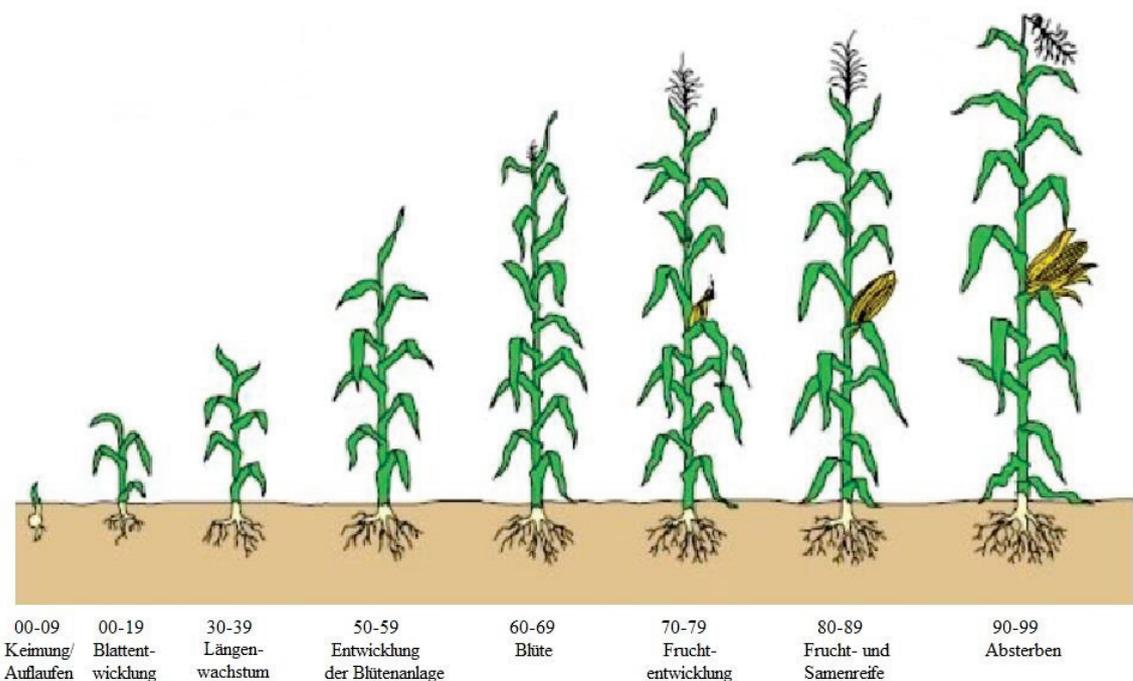


Abb. 1: BBCH-Stadien von Mais (BASF 2013)

Das erste Makrostadium wird als „Keimung und Auflaufen“ (BBCH 00-09) bezeichnet. Vor allem in diesem Stadium ist die Entwicklung des Mais stark temperaturabhängig. Für ein schnelles und gleichmäßiges Auflaufen müssen die Bodentemperaturen mindestens 10° C betragen, da es sonst zu starken Verzögerungen im Keim- und Auflaufprozess kommen kann. Die zweite wichtige Rolle spielt die Bodenfeuchte, da der Keimprozess erst ausgelöst wird, wenn der Samen 30 % seines Eigengewichts an Bodenwasser absorbiert hat (Lütke Entrup et al. 2013). In der Jugendentwicklung (BBCH 10-39) werden bereits die entscheidenden Ertragskomponenten festgelegt. Während bereits fünf bis sechs der bis zu 16 Blätter im Samen angelegt sind, ist die Anlage weiterer Blätter, der Rispe, des Kolbens und deren zukünftige Anzahl der Kornreihen schon im 6- bis 8-Blatt-Stadium vollständig abgeschlossen. Während die Anzahl der Kornreihen pro Kolben in starkem Umfang durch die Genetik und nur wenig durch Umweltfaktoren bedingt ist, kann die Anzahl der Körner je Kornreihe stark negativ durch ungünstige

Umweltbedingungen beeinflusst werden (KWS 2019). Mit dem Schossen (BBCH 30-39) und Rispenziehen (BBCH 50-59) beginnt ein Abschnitt sehr zügigen Wachstums, in dem die Maispflanze 7-10 cm pro Tag in die Höhe wachsen kann. Die etwa fünf bis sechs Wochen andauernde Phase stellt für den Mais hinsichtlich der Wasser- und Nährstoffversorgung einen sehr kritischen Abschnitt dar, weil ca. die Hälfte der kompletten Trockensubstanz gebildet werden muss. Um die Maximalanzahl der Körner pro Reihe zu erreichen, müssen zu Beginn des Fahrenziehens ausreichend Wasser und Stickstoff verfügbar sein. Damit während und nach der Blüte (BBCH 60-69) gute Befruchtung und voller Kornansatz gewährleistet werden kann, muss dauerhaft ausreichende Feuchtigkeit vorhanden sein (Zscheischler et al. 1990). Im Stadium „Frucht- und Samenreife“ (BBCH 80-89) kann die Entwicklung des Maiskorns in die vier Phasen: Milch-, Teig-, physiologische- und Vollreife eingeteilt werden. Während die potenzielle Größe des Kolbens bereits vor der Befruchtung determiniert ist, können ungünstige Umwelteinflüsse während dieses Entwicklungsstadiums die Kornzahl und/oder das Tausendkorngewicht reduzieren.

2.1.4 Sortenwahl und Aussaatstärke

Sowohl die Sorte als auch die Bestandesdichte gelten als ein entscheidender Produktionsfaktor für die Ausnutzung des Ertrags- und Qualitätsvermögens im Maisanbau. Je nach Verwertung sind neben der Reifezahl der Sorte auch die Beziehungen zwischen den Abreifeparametern der einzelnen Fraktionen der Gesamtpflanze (Kolben, Restpflanze) zu berücksichtigen. Im weltweiten Maissortiment werden die Sorten durch eine nutzungsspezifische Reifezahl, welche ehemals als FAO- Zahl definiert war, beschrieben. Es gibt insgesamt neun Reifegruppen, welche durch eine dreistellige Zahl im Bereich von 100-900 untergliedert werden. Des Weiteren wird bei der Klassifizierung in Silo(S)- und Körnermais(K) unterschieden. Die Körnerreifezahl berücksichtigt den TS-Gehalt des Korns, wohingegen bei der Siloreifezahl der TS-Gehalt der Gesamtpflanze betrachtet wird. Der Vorteil der Reifegruppen gegenüber der FAO-Zahl liegt in der Unterteilung des Abreifeverhaltens der Maissorte je nach Nutzungsrichtung (DMK 2020b). Die optimale Bestandesdichte ergibt sich aus der jeweiligen Sorte, deren Nutzungsrichtung (Silo-, Körner-, Biogasnutzung) und zum größten Teil aus der Bodenart bzw. Wasserversorgung am Standort (s. Tab. 1).

Tab. 1: Empfehlung für die anzustrebende Bestandesdichte (nach Zscheischler et al. 1990)

Reifegruppe (Reifezahl)	Anbaulage	
	günstig	ungünstig
Früh (bis 220)	10-12	7-9
Mittelfrüh (230-250)	9-10	6-8
Mittelspät (260-290)	8-9	6-7
Spät (300-350)	8	6-7

Praxisübliche Bestandesdichten belaufen sich auf 6-12 Pflanzen/m² (Lütke Entrup et al. 2013), wobei sich die angestrebte Pflanzenzahl/m² wie auch bei anderen Kulturen nicht mit der auszusäenden Körneranzahl deckt. Aufgrund des heutzutage qualitativ hochwertigen Maissaatgutes ist im Normalfall ein Zuschlag von 5 % ausreichend. In Erwartung von schwierigen Bedingungen für den Feldaufgang oder bei Keimfähigkeiten des Saatgutes von unter 95 % sind Zuschläge von 10-15 % sinnvoll. Diese können dabei jedoch nie unzureichende Aussaatbedingungen (wie z.B. mangelhafte Saatbettbereitung) vollständig kompensieren, da Mais seine Bestandesdichte nicht wie Getreide über ein Bestockungsvermögen anpassen kann (LWK NRW 2015a). Bei zu hohen Bestandesdichten und zu Wassermangel neigenden Standorten sieht das DMK (2020a) negative Auswirkungen in Bezug auf Konkurrenz der Pflanzen um Wasser und Nährstoffe, ein verringertes Längenwachstum sowie eine reduzierte Kolbenbildung und einer schnelleren Abreife.

2.1.5 Reihenabstand

Neben der optimalen Bestandesdichte spielt die Verteilung der Pflanzen im Raum eine ebenso wichtige Rolle. Dabei wird die Qualität der Ablage in der Reihe maßgeblich durch die Aussaattechnik bestimmt. Je höher die Arbeitsgeschwindigkeit, mit der gefahren wird, desto höher ist auch die Wahrscheinlichkeit einer fehlerhaften Ablage des Einzelkornaggregats. Die gängigsten Reihenweiten sind 35 cm, 45 cm, 50 cm und 75cm. Bei größeren Reihenabständen (z.B. 75 cm) steigt die Gefahr des Verrollens des Saatkorns, da eine größere Anzahl an Körnern innerhalb einer Reihe verteilt werden müssen. Bei Verengung der Maisreihen von 75 auf z.B. 35 cm kommt es zu einem früheren Bestandesschluss, was wiederum unkrautunterdrückend wirkt. Durch die bessere Bodenbedeckung (Erosionsschutz) entfallen bei Reihenabständen von unter

45 cm außerdem CC-Auflagen, die normalerweise beim Anbau von Reihenkulturen greifen würden. Vorteil einer 75er-Reihe ist hingegen die hohe Nährstoffkonzentration von gegebenem Unterfußdünger im Düngerband, was eine gute Nährstoffversorgung der Maispflanzen während der Jugendentwicklung mit sich bringt. Die Halbierung des Saatreihenabstandes bedeutet demnach auch die Halbierung der Nährstoffkonzentration aus Unterfußdünger unter der Saatreihe (LWK NRW 2015a; TLL 2008).

2.2 Dammsysteme

2.2.1 Entstehung

Die Dammkultur (Ridge-Tillage; ridge-till) konnte sich innerhalb der traditionellen Landwirtschaft weiterentwickeln und so fester Bestandteil moderner Anbausysteme werden. Insbesondere die Tropen gelten als Ursprung des Systems, da die Bewohner in Regionen mit wenig Niederschlag ebenfalls flachgründige, wenig fruchtbare Böden vorfanden (Lal 1990). Dammkultur-Systeme entwickelten sich als Teil der ressourcenschonenden, traditionellen Landwirtschaft zunächst in drei verschiedenen Regionen: Süd- und Mittelamerika (Turner und Harrison 1981), im Kongobecken Westafrikas (Pereira et al. 1967) und Südostasien (Chandler 1981).

2.2.2 Dammkultur-Typen

Es gibt verschiedene Typen des Dammkulturbaus, welche jedoch in der Anhebung des Saatbettes oberhalb der eigentlichen Bodenoberfläche ein gemeinsames Ziel finden (Hatfield et al. 1998). Müller (2010) unterscheidet die Systeme hinsichtlich der Form und Verweildauer der Dämme auf dem Feld. Sie unterteilt dabei in die mehrjährig im Feld verbleibenden Dämme („permanent ridges“), die leicht erhöhten Saatreihen („raised bed“) und die „tied ridges“, welche zusätzlich zu den Hauptdämmen noch Querdämme enthalten. Die „permanent ridges“ sind vor allem im amerikanischen Corn Belt, dem Haupt-Maisanbaugebiet des mittleren Westens, verbreitet, wo sie meistens bereits im Herbst angelegt und dann in einer Mais-/ Sojabohnenrotation genutzt werden. Das „raised bed“-System wird u.a. in Mexiko angewendet, wo die Dammtäler als Bewässerungsrillen genutzt werden. Aufgrund der regenarmen, jedoch durch Starkregen gekennzeichneten, Gebiete in Afrika, sind hier die „tied ridges“ verbreitet, welche das oberflächige Abfließen des Regenwassers verhindern sollen.

In Europa findet die Dammsaat vor allem im Kartoffel- und Gemüseanbau Verwendung, um die Ernte zu erleichtern. Neben den Sonderkulturen spielt die Dammkultur aber auch in landwirtschaftlichen Kulturen wie Mais, Soja, Raps und Zuckerrübe eine immer wichtigere Rolle. Dämme können sowohl im Herbst als auch im Frühjahr geformt werden. Herbstdämme setzen sich über den Winter und benötigen vor der Aussaat im Frühjahr eine mechanische oder chemische Unkrautbekämpfung. Um im Frühjahr Dämme formen zu können, muss gewartet werden bis der Boden ausreichend

abgetrocknet ist, um die Tragfähigkeit für landwirtschaftliche Maschinen gewährleisten zu können (Schwarz 2019).

2.2.3 Versuchsergebnisse im Dammkulturanbau

Als Alternative zum Pflug kommen neben der Direkt- und Mulchsaat auch Dammkultursysteme zur Anwendung. Sowohl im ökologischen als auch im konventionellen Landbau wird in der Praxis teilweise auf den Pflug als Grundbodenbearbeitung verzichtet. Dies geschieht vor allem mit Augenmerk auf eine Förderung der Bodenstruktur, des Bodenlebens und der Minderung der Bodenerosion. Laut Benjamin et al. (1990) führt die Vergrößerung des Wurzelraums zu einem verbesserten Wasserhaushalt. Der größte Effekt wurde bei einer Dammhöhe von 20 cm (Tal-Krone) realisiert. Des Weiteren bringt das System eine Reduktion des Arbeits- und Energieaufwands mit sich, da nur ein geringer Teil der Bodenkrume bearbeitet wird. Dabei können gegenüber einem konventionellen Verfahren 18-22 % Kraftstoff- und 24-27 % Arbeitskosten eingespart werden (Archer et al. 2002). Schwarz (2019) sieht die Vorteile des Dammanbaus im gemäßigten Klima insbesondere bei lehm- und lößhaltigen Böden. Durch die schräge Sonneneinstrahlung im konventionellen Anbau (Flachkultur), sind gleiche Temperaturen in allen Bereichen vorherrschend. Im Gegensatz dazu ist die Einstrahlungsintensität beim Anbau in Dämmen auf der sonnenzugewandten Flanke höher. Neben und auf den Dämmen entsteht somit ein unterschiedliches Mikroklima mit Luftbewegung durch Temperaturunterschiede. Insgesamt findet beim Anbau in Dämmen eine Oberflächenvergrößerung des Bodens um das Saatkorn statt, sodass sich die Dämme im Frühjahr schneller erwärmen können. Durch die höhere Bodentemperatur können positive Effekte auf Keimung und Pflanzenwachstum erzielt werden. Außerdem ermöglicht es bei einigen Kulturen eine Vorverlegung des Aussaattermins. Ähnliche Ergebnisse brachte ein dreijähriger Vergleich in China, bei welchem das Dammsystem einem pfluglosen und einem Pflug-System gegenüberstand. Auch hier konnten höhere Bodentemperaturen in den Dämmen in Abhängigkeit von der Dammhöhe festgestellt werden. Dabei wurde eine höhere Bodentemperatur (0,7-2,4°C) in den oberen 10 cm der Dämme nachgewiesen (He et al. 2010).

Bei einem Langzeit-Bodenbearbeitungsversuch der Universität Kassel wurde das „Dammsystem nach Turiel“ unter anderem mit dem herkömmlichen Pflugsystem verglichen. Dabei war die Bodentemperatur in den Turiel- Dämmen tendenziell höher als

im Pflugsystem (0,1 °C), die Erträge waren jedoch durchgehend deutlich niedriger (Müller 2010). Da sich die Bodenstruktur nur langsam umstellt, ist der Wechsel von Pflug- auf Dammkultur in den ersten Jahren schwer zu bewerten, da sich die Bodenstruktur nur langsam anpasst. Um die Vorteile des Systems voll ausnutzen zu können, sollte die Dammkultur als gesamtbetriebliches System verstanden werden (Lal 1990). In einem dreijährigen Versuch der Landwirtschaftskammer Niedersachsen in den Jahren 2004-2006 konnten im ökologischen Maisanbau, neben einer rascheren Jugendentwicklung und einer effizienteren Beikrautregulierung, auch positive Ertragseffekte der Dammsaat festgestellt werden. Dafür wurde, neben der Standard-Variante mit 75 cm Reihenabstand, eine Engsaat-Variante mit 37,5 cm und eine Dammkultur-Variante mit 75 cm Reihenabstand miteinander verglichen. Im ersten Versuchsjahr (2004) konnte durch ein deutlich besseres Pflanzenwachstum ein Mehrertrag von 30 % erzielt werden (s. Tab. 2).

Tab. 2: Erträge 2004 (rel. Vergleich) (LWK NS 2010)

Variante	Abreife	Ertrag			Pflanzenlänge zur Ernte cm	Pflanzen/Parzelle (absolut)
	TM-Gehalt %	TM dt/ha	Energie GJ NEL/ha	Stärke dt/ha		
1) Standard 75 cm Reihenabstand	100	100	100	100	100	81
2) Dammanbau 75 cm Reihenabstand	105	130	129	127	115	81
3) Engsaat 37,5 cm Reihenabstand	105	110	111	111	104	82
Standardmittel absolut	24,4	68,3	41,2	18,2	205,8	81

In den Versuchsjahren 2005 und 2006 konnten diese positiven Ertragseffekte dann jedoch nicht bestätigt werden. Die im Damm abgelegten Maiskörner hatten aufgrund ausbleibender Niederschläge, und daraus resultierenden sehr trockenen Bodenverhältnissen, häufig keinen ausreichenden Wasseranschluss. Ein verzögerter und ungleichmäßiger Feldaufgang des Maises war die Folge. Zusätzlich führte Vogelfraß im Jahr 2005 zu zusätzlichen Pflanzenausfällen, was die Auswertbarkeit der Ergebnisse der Dammsaat beeinträchtigte. Im Bereich der Futterqualität konnten zwischen den Aussaatvarianten keine deutlichen Unterschiede festgestellt werden (s. Tab. 3). Die etwas höheren Proteingehalte bei der Engsaat lassen auf eine höhere Nährstoffausnutzung

aufgrund der besseren Standraumverteilung der Pflanzen schließen (Meyercordt und Mücke 2006).

Tab. 3: Futterqualitäten 2004 (rel. Vergleich) (Meyercordt und Mücke 2006)

Variante	Futterqualität		
	Stärke %	Rohprotein %	Energiedichte MJ NEL/kg
1) Standard 75 cm Reihenabstand	100	100	100
2) Dammanbau 75 cm Reihenabstand	97	102	98
3) Engsaat 37,5 cm Reihenabstand	100	104	100
Standard absolut	26,5	8,3	10,2

Auch Kristensen und Sorensen (2006) konnten in einer Versuchsreihe im ökologischen Maisanbau deutliche Ertragsunterschiede realisieren (s. Abb. 2).



Abb. 2: Mais in Dammkultur (links) & Mais in Flachkultur (rechts) (Kristensen und Sorensen 2006)

Dabei testeten sie das Dammhäufeln und Aussäen sowohl im kombinierten, als auch im zweiphasigen Verfahren. Die Erträge der Dammsaat ($12,8 \pm 1,5$ t TM/ha) übertrafen die des konventionellen Anbaus ($8,0 \pm 0,7$ t TM/ha) um bis zu 60 %. Neben einem zügigeren Feldaufgang kann der Dammanbau ebenfalls die N-Mineralisation im Frühjahr fördern. Ergebnisse von Krause et al. (2007) zeigen einen 8-16 % höheren BZE im Zuckerrübenanbau, was sie auf höhere Stickstoffumwandlungsprozesse im Boden zurückführen.

3. Material und Methoden

3.1 Standortbeschreibung

Die Versuchsfelder, die im Rahmen des Verfahrensvergleichs im Jahr 2019 betrachtet werden, liegen am Betriebsstandort der „Landwirtschaftsbetrieb Helms GbR“ in 17168 Jördenstorf (OT Gehmkendorf). Der Landwirtschaftsbetrieb ist ein Gemischtbetrieb mit Spezialisierung auf die Milchkuhhaltung und dem geringeren Teil des Marktfruchtanbaus. Die beiden zu betrachtenden Ackerschläge haben die Bezeichnungen „Dorf“ und „Park“.

3.1.1 Schlag-Beschreibung „Dorf“

In Abbildung 3 ist ein Luftbild der Versuchsfelder „Dorf“ abgebildet. Die Feldgrenzen der Fläche sind rot markiert, während die Dammkulturfläche gelb eingegrenzt ist. Im östlichen Teil des Bildes befindet sich der Ortsteil Gehmkendorf, im Norden wird die Fläche durch eine Landesstraße begrenzt. Die Gesamtflächengröße beträgt 28,48 ha, welche sich laut GPS-Tracker in 18,25 ha der konventionellen Fläche, 4,66 ha der Dammkulturfläche und 5,57 ha des Vorgewändes aufteilt. Die Abbildung beinhaltet die jeweilige Bodenart, Zustandsstufe, Entstehungsart mit der dazugehörigen Bodenzahl und Ackerzahl. Die Bewirtschaftungsrichtung der Fläche entspricht der, der sichtbaren Fahrspuren. Die unterschiedlichen Bereiche innerhalb der Fläche weisen jeweils verschiedene Bodenarten auf. In Tabelle 4 werden die Bodenarten mit den zugehörigen Abkürzungen, welche in Abbildung 3 dargestellt sind, aufgelistet.

Tab. 4: Klassifizierung unterschiedlicher Böden (nach BMF 2015)

Bodenart	Zustandsstufe	Entstehungsart	Bodenzahl	Ackerzahl
S Sand	1 = sehr gut	D = Diluvialböden	Bodenart,	Klimaverhältnisse,
SI anlehmiger Sand	6/7 = sehr ungünstig	Lö = Lössböden	Zustandsstufe der	Wasserverhältnisse,
IS lehmiger Sand	Humus, Grobanteile,	Al = Alluvialböden	Böden, Entstehungsart	Geländeverhältnisse
SL stark lehmiger Sand/ stark sandiger	Karbonatgehalt,	V = Verwitterungsböden	der Böden	Ackerzahl = Ausdruck für die natürliche Ertragsfähigkeit des Standortes
sL sandiger Lehm	Lagerung, Struktur,			
L Lehm				
LT lehmiger Ton/ toniger Lehm				
T Ton				
Mo Moor				

Der Ackerschlag enthält die Bodenarten ‚lehmiger Sand‘, ‚stark lehmiger Sand‘ und ‚sandiger Lehm‘, wobei auf der Dammkulturfläche tendenziell der etwas lehmigere und

auf der konventionell bearbeiteten Fläche der etwas sandigere Boden vorzufinden ist. Gemittelt über den Schlag ergibt sich eine Ackerzahl von etwa 46 Punkten.

Die Bodenbeprobung aus dem Jahr 2018 ergab folgende Werte:

– pH: 6,6 (GK: C) – Phosphor: 8 mg P / 100 g Boden (C) – Kalium: 13 mg K (C) – Magnesium: 10 mg Mg (C).

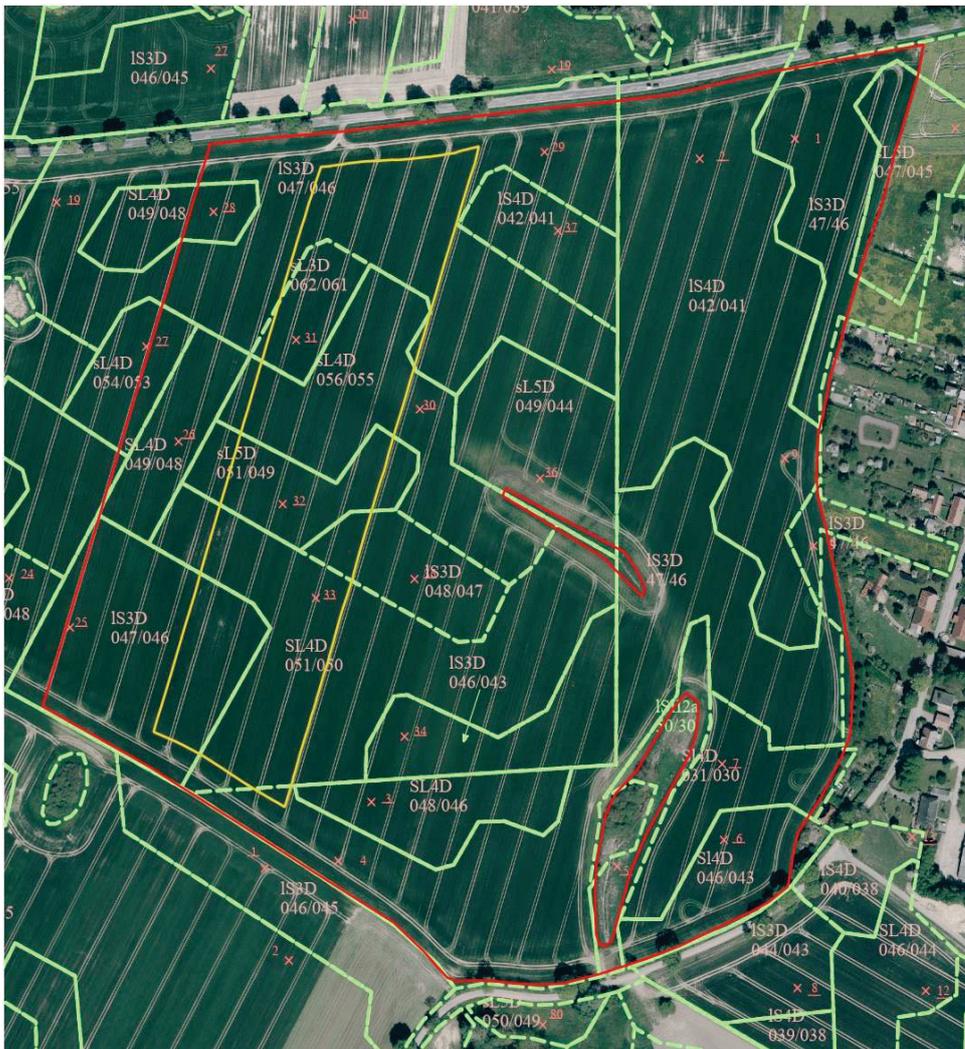


Abb. 3: Versuchsfläche „Dorf“ (Eigendarstellung in QGIS)

Als Vorfrucht stand auf dem Versuchsfeld „Dorf“ Wintergerste, welche aufgrund der Trockenheit nicht annähernd ihr Ertragspotential ausschöpfen konnte. Mit 63 dt/ha lag der Ertrag deutlich unter dem 3-jährigen Mittel von 89 dt/ha (Stand 2019). Zur Winterbegrünung und Umsetzung des noch im Boden vorhandenen mineralischen Reststickstoffs in organische Masse, wurde als Zwischenfrucht eine Phacelia-Leinsamenmischung ausgewählt.

3.1.2 Schlag-Beschreibung „Park“

In Abbildung 4 wird die zweite Versuchsfläche namens „Park“ abgebildet. Die Feldgrenze ist ebenfalls rot markiert, die Dammkulturfläche gelb eingegrenzt. Im Westen wird der Schlag durch einen Park begrenzt, im Osten durch einen Wald und im Süden durch eine nicht vollständig geschlossene Hecke. Die Gesamtflächengröße beträgt 16,62 ha, welche sich laut GPS- Tracker erneut in 6,88 ha konventionell bearbeitete Fläche, 5,48 ha Dammkulturfläche und 4,26 ha Vorgewände aufteilt. Abbildung 4 enthält die gleichen Parameter wie in Abbildung 3. Es sind ebenfalls heterogene Bodenverhältnisse vorzufinden. Der Ackerschlag enthält die Bodenarten ‚anlehmiger Sand‘, ‚lehmiger Sand‘, ‚stark lehmiger Sand‘ und zu einem vernachlässigbarem Teil ‚sandiger Lehm‘. Gemittelt über den Schlag ergibt sich eine Ackerzahl von etwa 42 Punkten.

Die Bodenbeprobung aus dem Jahr 2018 ergab folgende Werte:

– pH: 6,6 (GK: C) – Phosphor: 6,1 mg P / 100 g Boden (C) – Kalium: 14,1 mg K (C) – Magnesium: 10,5 mg Mg (C).

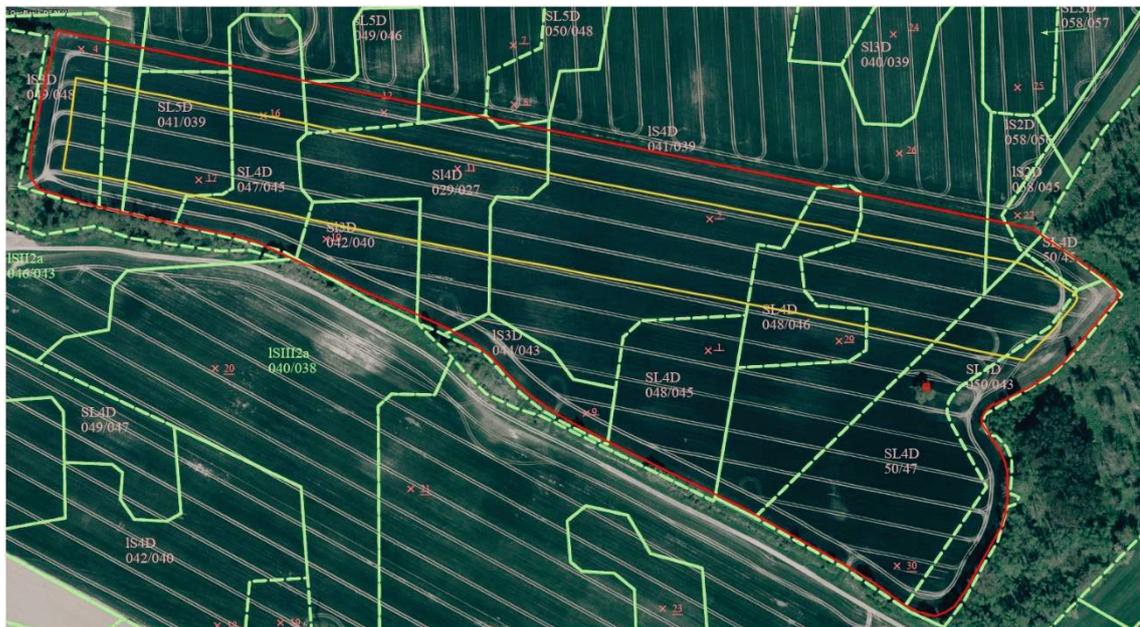


Abb. 4: Versuchsfläche „Park“ (Eigendarstellung in QGIS)

Als Vorfrucht stand auf dem Versuchsfeld „Park“ Wintergerste, welche ebenfalls nicht ihr Ertragspotential ausschöpfen konnte. Mit 60 dt/ha realisiertem Ertrag wurde der trockenheitsbedingte Ertragsausfall noch deutlicher. Die Fläche wurde anschließend ebenfalls mit einer Phacelia- Leinsamenmischung über Winter begrünt.

3.1.3 Witterungsverlauf am Versuchsstandort

Der Witterungsverlauf für den Versuchsstandort Gehmkendorf ist in Abbildung 5 dargestellt. Für die Temperaturdaten wurde die Wetterstation in Trollenhagen/ Neubrandenburg, welche etwa 70 km entfernt liegt, über das Programm „expert.classic“ (proPlant expert.classic 2019) genutzt. Eine näher gelegene Station stand nicht zur Verfügung. Die Niederschlagsmengenmessung erfolgte mittels eigenem Regenmesser am Betriebsstandort, welcher sich direkt zwischen beiden Versuchsfeldern befindet. Der Witterungsverlauf ist für den Zeitraum vom 04.04.2019 bis zum 04.10.2019 (horizontale Koordinatenachse), also zwei Wochen vor Aussaat bzw. zwei Wochen nach Ernte, dargestellt. Weiterhin sind sowohl das Aussaatdatum vom 18. und 19.04.2019, sowie der Erntezeitpunkt vom 17. und 18.09.2019 mit grünen Pfeilen gekennzeichnet.

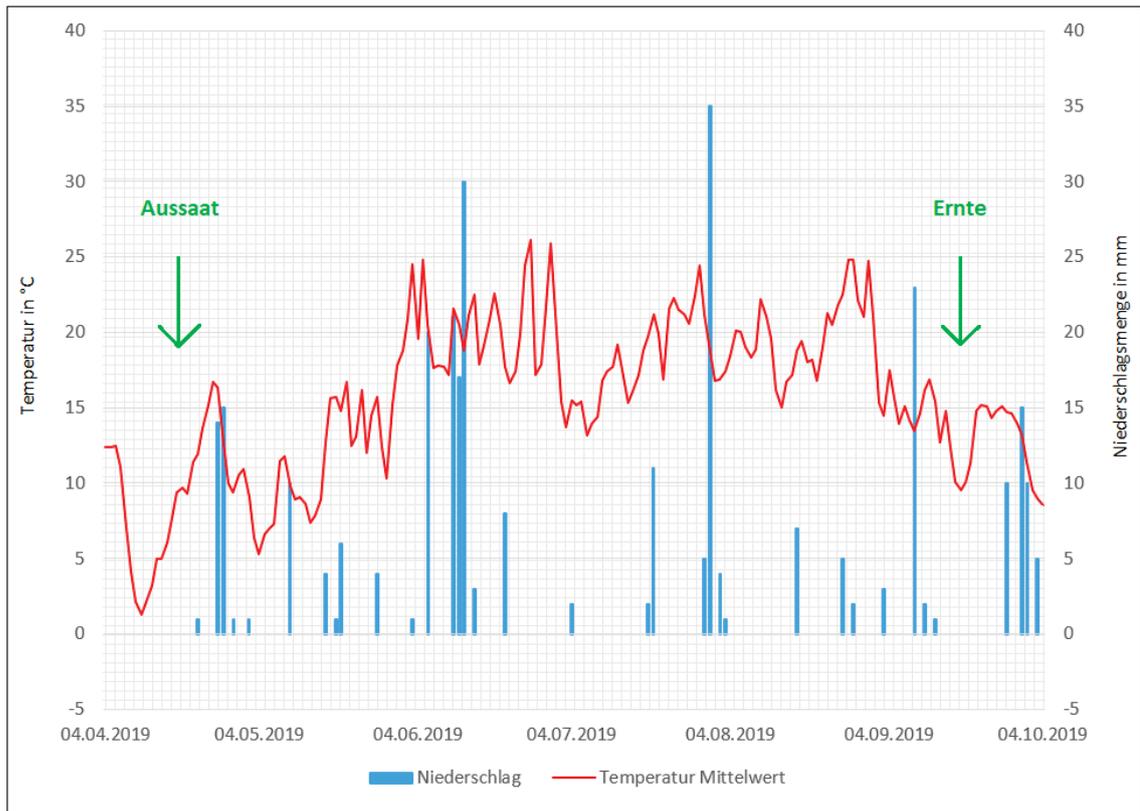


Abb. 5: Witterungsverlauf im Zeitraum vom 04.04.2019 bis 04.10.2019 am Versuchsstandort (proPlant expert.classic 2019; eigene Darstellung)

Die rote Linie setzt sich aus den täglichen Temperatur- Mittelwerten zusammen. Während kurz vor der Aussaat nachts teilweise noch Minimumtemperaturen von unter 0 °C verzeichnet werden konnte, blieben die Temperaturen nach der Aussaat dauerhaft im

positiven Bereich. Die blauen Säulen stellen die täglichen Niederschlagsmengen in mm dar. Der Gesamtniederschlag im Zeitraum von Aussaat bis Ernte beträgt 260 mm. Der Jahresniederschlag von 2019 für den Versuchsstandort (Messstelle 17166 Teterow – 20 km Entfernung) beträgt 553,6 mm. Dieser Wert entspricht in etwa dem Mittel von 560,9 mm der letzten 20 Jahre (DWD 2019).

3.2 Auswahl der Boniturparzellen

Um auf den Versuchsschlägen Bonituren durchführen zu können, war es notwendig repräsentative Parzellen abzustecken. Damit Ergebnisse später statistisch ausgewertet werden können, wurden pro Schlag in den vier weiß gekennzeichneten Ortsparzellen (s. Abb. 6 & Abb. 7) noch jeweils vier Kleinparzellen (Wiederholungen) markiert, in denen dann bonitiert wurde.

Tab. 5: Übersicht der Parzellen je Schlag und der Wiederholungen je Parzelle (eigene Darstellung)

Schlag- bezeichnung	Schlag- nummer	Parzellen je Schlag	Wiederholungen je Parzelle
Dorf	1	4	4
Park	2	4	4

Die Ortsparzellen haben eine Größe von ca. 15 x 15 m, in ihnen wurden an ausgewählten Terminen Maispflanzen geschnitten um sie zu wiegen und analysieren. Um den Einfluss möglicher Drillfehler auf Boniturergebnisse möglichst gering zu halten, wurden die Kleinparzellen über mehrere Saatzeilen hinweg angelegt. Für die Kleinparzellen wurde im konventionellen Anbau eine Größe von 2 x 2,5 m gewählt, was vier Saatzeilen (à 0,5 m) und einer Zeilenlänge von 2,5 m entspricht. Die Kleinparzellen im Dammanbau haben eine Größe von 2,25 x 2,25 m, was wiederum 3 Saatzeilen (à 0,75 m) und einer Zeilenlänge von 2,25 m entspricht. Die Parzellengröße entspricht in beiden Varianten immer etwa 5 m², was letztendlich die Hochrechnung aller Bonituren auf einen Hektar Fläche vereinfacht. Das Ausmessen der Parzellen erfolgte mit einem Maßband, die äußeren Grenzen wurden mittels weißer Markierungsstäbe gekennzeichnet. Es wurden pro Versuchsfläche jeweils ein, den Erfahrungen entsprechend, ertragsmäßig „besserer“ und ein „schlechterer“ Standort für die Boniturparzellen ausgewählt. Diese Einteilung erfolgte zusätzlich anhand subjektiver Einschätzung durch Luftbildaufnahmen. An jedem Standort liegen sich die Ortsparzellen des konventionellen Verfahrens sowie Dammanbaus gegenüber, um möglichst gleiche Bedingungen zu realisieren. Beim Schlag „Dorf“ liegt der bessere Standort nordöstlich, in gedachter Verlängerung dazu befindet sich ein wasserführender Graben. Der schlechtere Standort befindet sich weiter südlich auf einer etwas anlehmigen Anhöhe. Auf der Fläche „Park“

hingegen liegt der gute Standort im Osten und der schlechtere Standort im Westen auf einer sandigen Kuppe. Zur besseren Wiederauffindbarkeit der Ortsparzellen wurden die Grenzen wiederum mittels GPS-Tracker aufgezeichnet. Diese georeferenzierten Daten wurden anschließend in das Programm „QGIS“ eingepflegt und mit einem Luftbild verknüpft.



Abb. 6: Versuchsfeld „Dorf“ mit Boniturparzellen (weiß) (Eigendarstellung in QGIS)

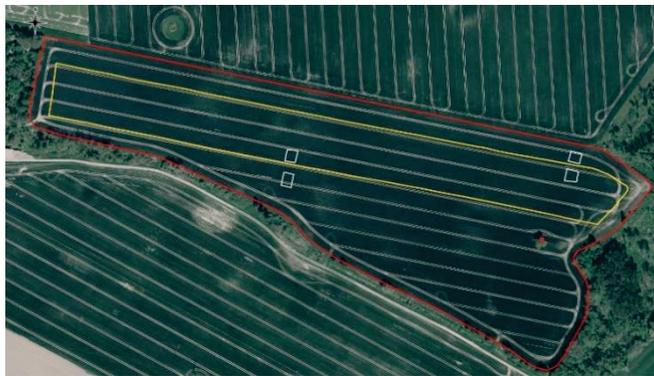


Abb. 7: Versuchsfeld „Park“ mit Boniturparzellen (weiß) (Eigendarstellung in QGIS)

3.3 Maßnahmen vor der Aussaat

Die Vorbereitung der Ackerschläge auf die anstehende Maisaussaat begann bereits am 20.03.2019 mit einer Pflanzenschutzmaßnahme. Üblicherweise behandelt der Betrieb die Maisflächen vor der Bodenbearbeitung komplett mit Roundup (Wirkstoff Glyphosat), um die vorhandene Biomasse, als auch Problemunkräuter, abzutöten. Dies ermöglicht eine bessere Einmischung der Pflanzenreste in den Boden und hat später phytosanitäre Vorteile für den Mais. In diesem Jahr wurde aufgrund des wahrscheinlichen Glyphosatverbots in einigen Jahren auf die gesamtflächige Anwendung verzichtet. Lediglich die Vorgewände der Flächen wurden mit 4 l/ha Roundup behandelt, da Problemunkräuter meistens von den Außengrenzen in den Schlag hineinwachsen.

Im Zeitraum vom 08.04.-16.04.2019 fand dann die organische (& mineralische) Düngung und die Bodenbearbeitung auf den Flächen statt. Die Ausbringung der im Betrieb anfallenden Gärreste (Rindergülle, welche in einer reinen Güllebiogasanlage vergoren wird) erfolgte mit einem 20 m³ „Briri“-Vakuumfass mit 18 m „Fliegl“-Schleppschuhgestänge. Es wurden 35 m³ Gärrest und 5 l/ha Piadin ausgebracht. Piadin ist ein sogenannter „Stickstoffstabilisator“, welcher die Umwandlung des im Gärrest befindlichen Ammoniumstickstoffs zu Nitrat verzögert und diesen an Bodenteilchen bindet. Die Freisetzung des Stickstoffs erfolgt mit zunehmender Bodentemperatur, was vorteilhaft für den Mais ist, da dieser erst im letzten Drittel seiner Vegetationszeit große Mengen an Stickstoff benötigt. Das Risiko unerwünschter Nitratreinträge ins Grundwasser wird demnach verringert (SKW Piesteritz 2020). In den abgesteckten Dammparzellen wurden die Gärreste mit einer 6 m „Rabe“-Kurzscheibenegge auf 10 cm eingearbeitet, während sie im konventionellen Verfahren mit einem 5-Schar-„Kuhn“-Pflug + „Tigges“-Packer direkt auf 27 cm untergepflügt wurden. Anschließend erfolgte in der Dammvariante noch die Ausbringung eines Mehrnährstoffdüngers (NP 20-20) mit dem Schleuderstreuer, da die spezielle Maislegemaschine im Dammverfahren nicht die Möglichkeit besitzt zusätzlich zur Saat auch Dünger abzulegen. Gänzlich auf mineralischen Dünger zur Aussaat zu verzichten kam nicht in Frage, da Mais in der Jugendphase ein schlechtes Phosphat-Aneignungsvermögen besitzt und mineralisches (wasserlösliches) Phosphat per Diffusion zur Wurzel gelangen kann (LWK NRW 2015b). Kurz vor der Maisaussaat wurde dann mit einem 4 m „Köckerling Quadro“-Grubber die Saatbettvorbereitung auf 10 cm Tiefe durchgeführt. Normalerweise war dieser

Arbeitsgang nur in der konventionellen Variante geplant, da der Boden in der Dammparzelle vor der Aussaat möglichst unberührt bleiben sollte, um die Schüttfähigkeit für die Dammformung zu gewährleisten. Ein milder Winter, welcher die Zwischenfrucht und wüchsigen Altraps nicht ausreichend abfrieren ließ, machten diese Maßnahme dennoch notwendig.

3.4 Aussaat

Um den beiden Anbauvarianten gleiche Rahmenbedingungen zu geben, war es nötig die beiden Legemaschinen zum gleichen Tag zu bestellen. Die Maisaussaat fand auf den Versuchsflächen innerhalb von zwei Tagen vom 18.04.-19.04.2019 statt.

3.4.1 Technik konventionelles Verfahren

Das Lohnunternehmen Blunk setzte für die diesjährige Aussaat (2019) den Prototyp „Horsch Maestro 12.45 CX“ ein (s. Abb. 8). Die Maschine zeichnet sich durch hohe Schlagkraft (Arbeitsbreite von 6 m, bzw. 12 Reihen) und einen großvolumigen Säwagen aus. Auf ein bodenbearbeitendes Vorwerkzeug an der Maislegemaschine wird in diesem Verfahren vollkommen verzichtet. Dank eines neuen Doppeltanksystems können neben 800 l Saatgut auch 3000 l Dünger bevorratet werden. Während der Dünger direkt mittels Dosierwalze und Luftstrom zum Applikationsort gelangt, wird das Maissaatgut per Luftstrom zum „AirVac“-Dosierer befördert und dort vereinzelt. Das Doppelscheibenschar für die Applikation des Maiskorns ist serienmäßig mit einem Hydraulikzylinder zur Druckerzeugung ausgerüstet. Es können Schardrücke bis zu 350 kg/Körper manuell am Terminal oder voll automatisch durch das Schardruckregelsystem „AutoForce“ genutzt werden. Alle Abläufe der Maschine können auf dem Schlepper mittels ISOBUS-Terminal überwacht werden. Mit der „SectionControl“-Funktion wird eine automatische Teilbreitenschaltung ermöglicht. Durch das Schlepper-GPS (Fendt VarioGuide) wird die aktuelle Position der Maschine ermittelt und eine automatische Abschaltung am Vorgewände oder bei Hindernissen möglich gemacht. Dies vermeidet Überlappungen und spart Saatgut (Horsch 2019).



Abb. 8: Horsch Maestro 12.45 CX des LU Blunk (eigene Darstellung)

3.4.2 Technik Dammkultur

Bei der Maschinenkombination aus Tiefenlockerer, Häufelkörper und Einzelkorndrillmaschine handelt es sich um eine Sonderanfertigung für die „HRD GmbH“, welche die Maschine letztendlich dem Lohnunternehmen Baumann zur Verfügung stellte. Die Firma „Evers Agro B.V.“ entwickelte eine kombinierte Maschine, die, außer dem Säaggregat von „Kverneland“, aus „Evers“-Bauteilen besteht (s. Abb. 9).

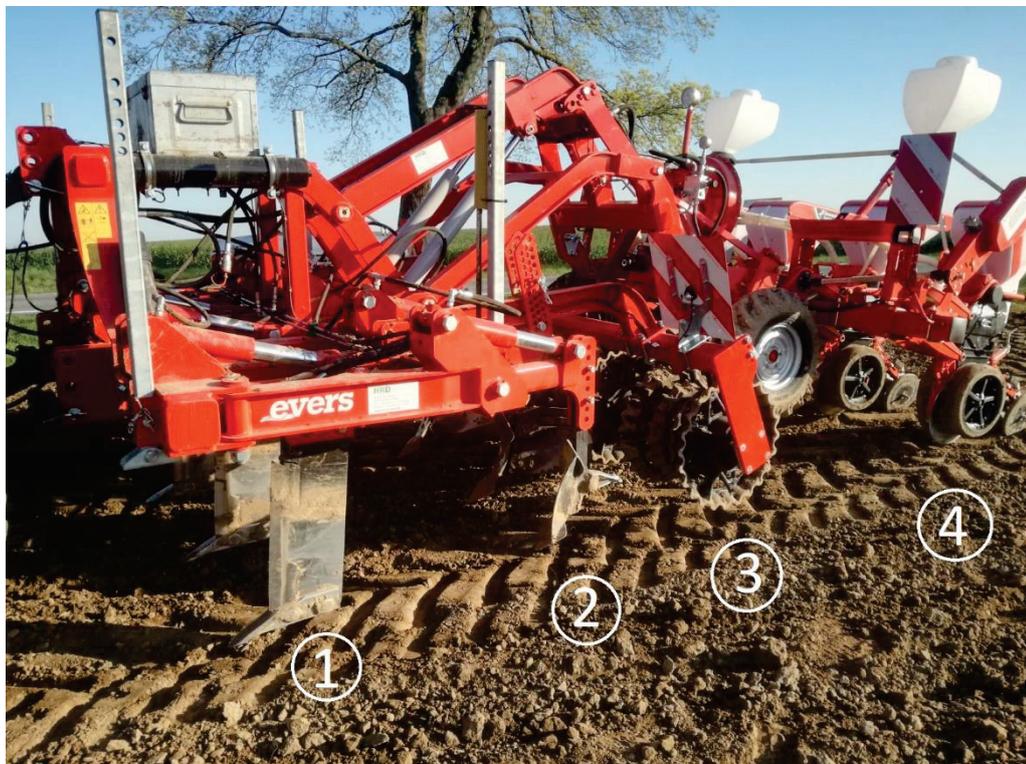


Abb. 9: Spezialmaschine „Dammprofi“ für den Dammkulturanbau (eigene Darstellung)

In Abb. 9 sind die verschiedenen Bauteile des „Dammprofi“ gekennzeichnet. Mit einer Arbeitsbreite von 3 m (4 Reihen) und geringer Arbeitsgeschwindigkeit hat diese Maschine deutliche Nachteile gegenüber der „Horsch Maestro“, jedoch erledigt sie im Normalfall zwei Arbeitsgänge gleichzeitig – Bodenbearbeitung und Aussaat. Die vier mit ① markierten Tiefenlockerer arbeiten bevor der Mais gelegt wird unter jeder zukünftigen Reihe auf 25-45 cm. Die vom Schlepper beanspruchte Fahrspur wird dementsprechend ebenfalls gelockert und hinterlässt keine Verdichtungen. Die Dammformung auf 75 cm erfolgt dann durch ein Doppelherzschar und einen Streifenkörper (②). Sowohl der Tiefenlockerer als auch der Häufelkörper sind mit einer hydraulischen Steinsicherung ausgestattet. Das Rückverfestigen der Dämme erfolgt dann mit einer Packerwalze in V- Form (③). Je nach Bodenart kann der Druck zur Rückverfestigung mechanisch durch eine Höhenverstellung angepasst werden. Ausgesät wird der Mais letztendlich mit einem angehängten Einzelkornsäugerät von Kverneland (④), welches zusätzlich Mikrogranulat ausbringen kann (wurde jedoch nicht genutzt). Die Saatgutbehälter können jeweils 60 l fassen, was bei großer Anbaufläche ein häufiges nachfüllen bedingt. Abgelegt wird das Maissaatgut ebenfalls mit einem Doppelscheibenschar. Scharldruckverstellungen müssen jedoch mechanisch mittels Federspannung angepasst werden, wobei ein Druck von bis zu 100 kg/Säreihe möglich ist. Dies ist im Vergleich zur „Horsch Maestro“ deutlich weniger. Bedingt durch das hohe Eigengewicht der Särschiene, und den ohnehin vorgelockerten Damm, gibt es jedoch keine Probleme in puncto Ablagetiefe. Auf die „SectionControl“-Funktion des „Dammprofi“ konnte verzichtet werden, da sich die Dammparzellen nur im Innenstück befinden und die „Horsch Maestro“ die Vorgewändeaussaat übernimmt (Reinken 2020; Strotmann 2018).

3.4.3 Sortenwahl & Aussaatstärke

Auf der Versuchsfläche „Dorf“ wurde die Maissorte „Welas“ des Züchterhauses Syngenta verwendet. Der landwirtschaftliche Betrieb wählte diese Sorte, da sie sich in den letzten Jahren sowohl ertrags- als auch qualitätsmäßig durchsetzen konnte. Für den Versuchsschlag „Park“ wurde die etwas preisgünstigere Limagrain-Sorte „LG 30.224“ ausgesucht. Für das Anbaugbiet um den Standort Gehmkendorf haben sich mittelfrühe Sorten mit Reifezahlen von S230-250 bewährt. Für die Sorte „Welas“ gibt der Züchter eine Reifezahl von S230 und K250 vor, was bedeutet, dass die Abreife des Korns länger

andauert als die der Gesamtpflanze. Im Sortenprofil der Sorte „LG 30.224“ ist nur die Siloreifezahl mit S230 hinterlegt. Da die Region um den Versuchsstandort zwar relativ gute Böden vorweisen kann, jedoch oftmals zur Vorsommertrockenheit neigt, wurden auf den Versuchsflächen 85.000 Körner/ha gelegt.

3.4.4 Reihenabstand

Im Praxisversuch kamen der „Dammprofi“ mit 75 cm und die „Horsch Maestro 12.45 CX“ mit 50 cm Reihenabstand zum Einsatz. Leider hatte das Lohnunternehmen Blunk keine Maschine mit 75 cm Reihenweite zur Verfügung, was den Vergleich der beiden Verfahren vereinfacht hätte. Der Fakt, dass bei der größeren Reihenweite des „Dammprofi“ auf die Ablagegenauigkeit geachtet werden muss und hohe Arbeitsgeschwindigkeiten vermieden werden sollten, entfiel, da die Vorfahrtsgeschwindigkeit des Schleppers durch den Tiefenmeißel begrenzt wurde. Die „Horsch“-Einzelkornsämaschine konnte hingegen hohe Flächenleistungen realisieren.

3.5 Bestandsführung

3.5.1 Düngung

Die Düngung erfolgte in drei Abschnitten: Gärrest vor der Aussaat, Mehrnährstoffdünger (20-20) unterfuß und Harnstoff zum Dreiblattstadium. Die Ausbringung der Gärreste zu Mais (08.04.-16.04.19) bietet eine gute Verwertungsmöglichkeit der betriebseigenen Organik, da durch steigende Temperaturen im Frühsommer auch organisch gebundener Stickstoff gut aufgenommen werden kann. Mit den ausgebrachten 35 m³/ha kann bereits ein Großteil des N-Bedarfs vom Mais gedeckt werden. Durch das 5 l/ha eingesetzte Piadin wird eine Umwandlung des Ammoniumstickstoffs zu Nitrat verzögert, damit wenig Auswaschung stattfindet und der Mais den verfügbaren Stickstoff bedarfsgerecht aufnehmen kann. Der im Gärrest befindliche Gesamtstickstoff beträgt 3,4 kg/m³, wovon in der Düngeplanung jedoch nur der Ammoniumstickstoffgehalt von 2,3 kg/m³ (etwa 70 % vom Gesamtgehalt) angerechnet werden muss. Der Unterfußdünger wurde bei der Dammkultur per Schleuderstreuer auf der Fläche verteilt und eingearbeitet (08.04.-16.04.19), wohingegen er bei der Flachsaa ca. 4 cm leicht versetzt unterhalb des Maiskorns abgelegt wurde (18.04.-19.04.19). Hierbei ist zu beachten, dass der Dünger nicht zu dicht ans Korn gelegt werden sollte, da es sonst zu Verätzungen kommen kann. Negativer Einfluss einer Unterfußdüngung kann die geringere Wurzelbildung der Maispflanzen sein, da Nährstoffe über Bodenwasser direkt zur Wurzel diffundieren. Dies wird vor allem in Trockenjahren problematisch, da der Mais über ein größeres Wurzelwerk mehr Wasser aufnehmen könnte. In dem mit 2 dt ausgebrachten Unterfußdünger befinden sich etwa 20 kg N und P pro dt und zusätzlich 6 kg Schwefel, 1,5 kg Bor und 1 kg Zink. Zwischen dem Drei- und Vierblattstadium fand noch eine Kopfdüngung mit 1 dt/ha Harnstoff statt (17.05.19), welcher 46 kg Stickstoff enthält. Diese Maßnahme muss spätestens dann stattgefunden haben, wenn der Mais den per Schleuderstreuer applizierten Düngerkörnern Raum zwischen den eingerollten Blättern gibt, da diese wiederum sonst ätzend wirken würden. In der Summe standen dem Mais auf beiden Versuchsschlägen jeweils 169,3 kg Stickstoff, 58,5 kg Phosphor, 91 kg Kalium und 16,5 kg Schwefel zur Verfügung (s. Tab. 6).

Tab. 6: Düngungsmaßnahmen mit Nährstoffgehalten auf den Versuchsflächen (eigene Darstellung)

Maßnahme	N	NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
35 m ³ /ha Gärreste	119	83,3	38,5	91	10,5
2 dt/ha Unterfußdünger	40		20		6
1 dt/ha Harnstoff	46				
Summe (kg/ha)	169,3		58,5	91	16,5

3.5.2 Pflanzenschutz

Rechnet man die Roundup-Maßnahme zur Zwischenfruchtabtötung mit ein, wurden insgesamt nur zwei Herbizidmaßnahmen gefahren. Wie bereits erwähnt, wurden lediglich die Vorgewände der Versuchsflächen mit 4,0 l/ha Roundup behandelt. Am 23.05.19 fand dann die eigentliche Herbizidbehandlung auf der Gesamtfläche statt. Dafür wurden die Mittel MaisTer power (0,85 g/l Iodosulfuron; 30 g/l Foramsulfuron; 9,77 g/l Thiencazone), Aspect (333 g/l Terbutylazin; 200 g/l Flufenacet) und Buctril (225 g/l Bromoxynil) verwendet, die jeweiligen Aufwandmengen sind in Tab. 7 abzulesen.

Tab. 7: Pflanzenschutzmaßnahmen auf den Versuchsflächen (eigene Darstellung)

Datum	Maßnahme	Mittel	Fläche
20.03.2019	Zwischenfruchtabtötung	4,0 l/ha Glyphosat	Vorgewände
23.05.2019	Herbizidmaßnahme	1,0 l/ha MaisTer power 1,0 l/ha Aspect 0,3 l/ha Buctril	Gesamt

3.6 Bonituren

Die in Kapitel 3.2 beschriebenen Ortsparzellen wurden mithilfe eines GPS-Trackers eingemessen, um sie einerseits grafisch in der Umgebung darstellen und um sie später im höheren Maisbestand wiederfinden zu können. Da der GPS-Tracker nur von der Hochschule ausgeliehen war, wurde für die weitere Verwendung der im GPX-Dateiformat gespeicherten Parzellen die Handyapp „Measure Map Pro“ genutzt.

3.6.1 Temperaturlogger

Einen Tag nach Abschließen der Aussaat (20.04.19) wurden knopfzellengroße Temperaturlogger platziert, um die Temperaturentwicklung während der Jugendphase des Maises in Saatkornnähe ermitteln zu können. Auf dem Schlag „Dorf“ wurde jeweils ein Logger in einer Saatreihe einer vermeintlich besseren Damm- und einer konventionellen Ortsparzelle auf Saatkorntiefe gelegt. Beim Schlag „Park“ wurde dies ebenfalls getan, mit der Ausnahme, dass hier für beide Varianten die vermeintlich schlechtere Ortsparzelle gewählt wurde. Die Messung wurde nach ca. sieben Wochen (10.06.19) im Stadium zwischen sechs und neun Blättern durch Herausnehmen der Logger beendet. Aufgrund fehlerhafter Messung bei drei der vier Temperaturlogger ab dem 09.05.19, konnten nur die Messungen der Tage davor miteinander verglichen werden. Da nur vier Logger zur Verfügung standen, konnten pro Schlag und Variante nur Messungen durch jeweils einen Temperatormesser durchgeführt werden. Für den Zeitraum der ersten 19 Tage nach der Aussaat liegen Daten vor, die sich aus insgesamt 1731 Messungen pro Temperaturlogger zusammensetzen. Die auf Saattiefe abgelegten Logger waren so programmiert, dass sie alle 15 Minuten eine Messung vornahmen.

3.6.2 Feldaufgang

Der Feldaufgang (FA) wurde jeden zweiten Tag in allen Kleinparzellen beider Versuchsschläge mit insgesamt zehn Wiederholungen bonitiert. Begonnen wurde damit am 29.04.19, sprich zehn Tage nach Maisaussaat. Die letzte Bonitur fand am 17.05.19 statt. Somit ergeben sich pro Anbauvariante und Schlag mit vierfacher Wiederholung pro Ortsparzelle (guter und schlechter Standort) insgesamt 80 Zählungen. Der Feldaufgang wurde mit folgender Formel immer auf Pflanzen pro Hektar hochgerechnet:

$$FA = \text{Bonitur} (5\text{m}^2) \times 2 \times 1000 = \text{Pflanzen} / \text{ha}$$

3.6.3 Pflanzenentwicklung

An den Tagen 31.05.19, 17.06.19 und 07.07.19 wurde die Blattanzahl pro Einzelpflanze in allen Kleinparzellen bonitiert. Dabei wurde zu jedem Zeitpunkt das größte Blattstadium identifiziert. Die Unterteilung erfolgte jeweils in Pflanzen, die jenes größtmögliche Stadium erreicht und die, die es noch nicht erreicht hatten. Dadurch ergaben sich für die drei Termine insgesamt 192 (32 Parzellen x 3 Termine x 2 Kategorien) verschiedene Werte. Das Bonitieren wurde beendet, als keine Zunahme der Blattanzahl mehr erkennbar war.

3.6.4 Pflanzenanalyse

An drei Terminen (12.06.19, 10.07.19, 02.09.19) wurden Pflanzen zur Gewichtsbestimmung bzw. Analyse im Labor geschnitten. Am ersten Termin wurden in jeder Kleinparzelle zehn Pflanzen abgeschnitten und deren Frischmasse, durch direktes Wiegen nach Schneiden, und Trockenmasse, durch Trocknen im Trockenschrank der Hochschule, bestimmt (32 Werte für FM und TM). Weiterhin wurden an diesem Termin die Proben der Kleinparzellen der jeweiligen Ortspartellen vermischt und zur Analyse auf Mikro- und Makronährstoffe (Stickstoff, Phosphor, Kalium, Schwefel, Bor und Zink) ins Labor der LUFA Rostock geschickt (acht Proben von insgesamt acht Ortspartellen), um den Einfluss des Unterfußdüngers in den verschiedenen Varianten zu ermitteln. Die Pflanzen befanden sich im 6-Blattstadium, was laut LUFA als optimaler Probenahmetermin gilt (LUFA 2018). Die Ergebnisse dieser Analyse beziehen sich bei Stickstoff, Phosphor, Kalium und Schwefel auf den Nährstoffgehalt in % und bei Bor und Zink auf mg/kg in der Trockenmasse. An den beiden letzten Terminen wurden lediglich zehn Pflanzen pro Ortspartelle geschnitten und deren Frisch- und Trockenmasse bestimmt (pro Termin acht Werte für FM und TM). Zusätzlich zur Bestimmung der Gesamtpflanzenmasse wurde am letzten Termin die Frisch- und Trockenmasse der Maiskolben bestimmt. Die Ergebnisse wurden in Gramm pro Einzelpflanze dargestellt.

3.6.5 Bestockung

Am 20.06.19 wurde einmalig ermittelt, ob die Maispflanzen in den Kleinparzellen Nebentriebe bilden. Dafür wurden alle Pflanzen in allen 32 Kleinparzellen begutachtet und in ‚bestockt‘ oder ‚unbestockt‘ eingeteilt. Im Normalfall soll pro ausgesätem Maiskorn nur eine Pflanze entstehen, da angelegte Nebentriebe die Ertrags- und

Qualitätseigenschaften der Pflanze negativ beeinflussen können (PIONEER 2012). Es erfolgte wie in Kapitel 3.6.2 eine Hochrechnung auf Pflanzen pro Hektar.

3.6.6 Ertrag

Die komplette Maisernte konnte im Zeitraum vom 17.09-18.09.2019 aufgrund der betriebseigenen Fahrzeugwaage verwogen werden. Dafür erhielt jeder Mitarbeiter eine Übersichtskarte mit den Ackerflächen, um eine problemlose Zuordnung der einzelnen Fuhren zu ermöglichen. Die beiden Versuchsschläge wurden dabei unterteilt in ‚Vorgewände‘, ‚Damm‘ und ‚Konventionell‘, wobei das Vorgewände bei der Auswertung unbeachtet bleibt. Die äußeren Vorgewände der beiden Schläge, als auch die der wasserführenden Gräben, wurden zum Beginn der Ernte gehäckselt, um die Damm- sowie konventionellen Parzellen „freizulegen“. Nach diesem Schritt wurden die einzelnen Parzellen über „Measure Map Pro“ aufgezeichnet, um die nötigen Flächengrößen zu erhalten. Während die Ertragserfassung mittels Fuhrwaage einen Eindruck über die Frischmasseerträge gab, konnten Trockenmasseerträge über die Ermittlung der Trockenmassegehalte errechnet werden, die zum einen per „HarvestLab“ am John Deere Feldhäcksler und zum anderen durch Futtermittelanalyse im Labor der LUFA bestimmt wurden. Der „HarvestLab“ ist ein Messsystem auf Basis von Nahinfrarotspektroskopie zur Bestimmung von Feuchte- und Inhaltsstoffgehalten in Echtzeit (JD 2019). Pro Versuchsschlag konnten demnach jeweils ein Frischmasseertrag und zwei Trockenmasseerträge je Aussaatvariante zugeordnet werden.

3.7 Statistische Auswertung

Die statistische Verrechnung der Daten wird mittels der Programme „Microsoft Excel“ (Microsoft Office 365 ProPlus) und der Statistik-Software „IBM SPSS Statistics 26“ durchgeführt. Dafür wurden die im Feldversuch erhobenen Daten zunächst in Excel gesammelt und strukturiert und anschließend in SPSS übertragen. Verwendete Abbildungen wurden in SPSS oder Excel erstellt und in „Microsoft Word“ weiterverarbeitet. Die Mittelwerte der Temperaturmessungen beider Aussaatvarianten wurden für beide Versuchsschläge mit einem t-Test (gepaarte Stichprobe) auf signifikante Unterschiede überprüft, wobei als Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ gewählt wurde. In einer einfaktoriellen Varianzanalyse (Anova) wurden die Mittelwerte der Bonituren – Temperaturlogger, Feldaufgang, Pflanzenentwicklung, Pflanzenanalyse, Bestockung und

Ertrag – auf signifikante Unterschiede überprüft. Als Varianzursache wurde stets der Faktor „Aussaatvariante“ betrachtet, als Signifikanzniveau wurde $\alpha = 0,05$ gewählt. Tendenzielle Unterschiede mit einem Signifikanzwert von $0,05 < p < 0,10$ wurden mit einem „T“ gekennzeichnet. Mittels univariater Varianzanalyse wurden Effekte fester Faktoren (Aussaatvariante und Standort) auf den Feldaufgang, die Bestockung und das Blattstadium bei einem Niveau von $\alpha = 0,05$ auf Signifikanz untersucht. Des Weiteren wurden die Zusammenhänge verschiedener Eigenschaften analysiert. Das jeweilige Bestimmtheitsmaß R^2 wurde dazu mithilfe einer Regressionsanalyse bei einem Niveau von $\alpha = 0,05$ auf Signifikanz überprüft. Die Darstellung der Korrelationen in einem Streudiagramm sollen hierbei der Verdeutlichung dienen.

4. Ergebnisse

Im Ergebnisteil werden die im Versuch gewonnenen Ergebnisse in unterschiedlichen Formen veranschaulicht. Dabei werden entweder die Gesamtmasse der erhobenen Daten für das Damm- bzw. konventionelle Verfahren oder zusätzlich der Einfluss der jeweiligen Versuchsfläche (Dorf, Park) oder des jeweiligen Standorts (gut, schlecht) betrachtet.

4.1 Temperaturlogger

Die Temperaturdaten für die zwei Versuchsschläge und den jeweiligen Aussaatvarianten sind in einem Liniendiagramm veranschaulicht. Die in Abbildung 10 und 11 abgebildeten Werte setzen sich aus den gemittelten Temperaturen der einzelnen Tage zusammen. Beim Versuchsfeld „Dorf“ wurden in der Dammvariante dauerhaft gleiche, zum größten Teil jedoch höhere Durchschnittstemperaturen gemessen (s. Abb. 10). Die größten Temperaturunterschiede in den verschiedenen Varianten von bis zu 1,5 °C entstanden ab dem 30.04.19.

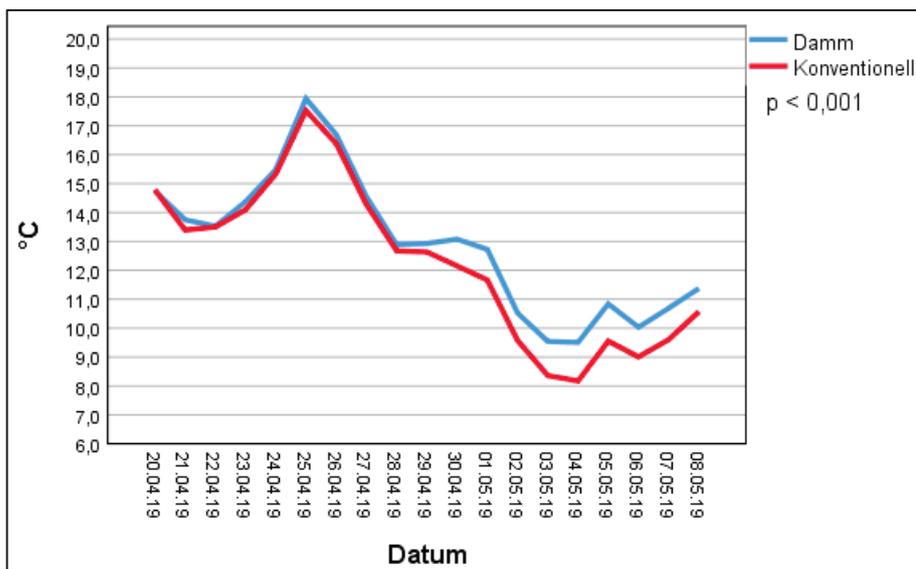


Abb. 10: Einfluss des Faktor „Aussaatvariante“ auf die Bodentemperatur beim Maisanbau auf Versuchsfläche „Dorf“. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)

Die Temperaturdaten der Versuchsfläche „Park“ lassen keinen eindeutigen Trend hinsichtlich der Verschiedenheit beider Aussaatvarianten erkennen (s. Abb. 11). Während zum Beginn und Ende der Messungen das konventionelle Verfahren höhere Durchschnittstemperaturen aufweisen kann, erzielt das Dammsystem im letzten Drittel

der Messungen teilweise gleiche bzw. höhere Werte. Die Analyse der Temperaturdaten ergab im t-Test für beide Schläge jeweils signifikante Unterschiede.

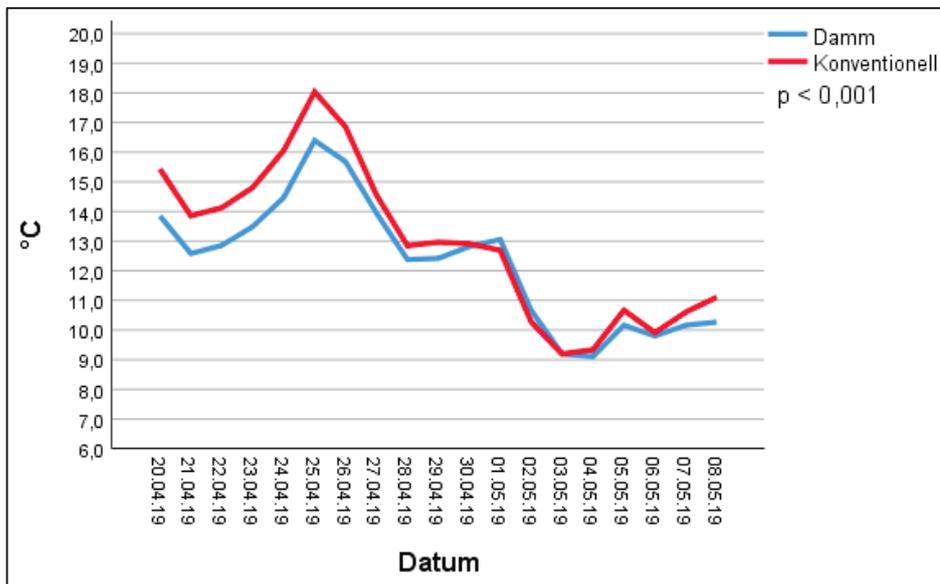


Abb. 11: Einfluss des Faktor „Aussaatvariante“ auf die Bodentemperatur beim Maisanbau auf Versuchsfläche „Park“. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)

Für beide Versuchsschläge ergeben sich hinsichtlich der Bodentemperatur folgende Temperatursummen für den Zeitraum vom 20.04.2019 bis 08.05.2019:

Tab. 8: Tagesdurchschnittstemperaturen und Temperatursumme der auf Saatkorniefe platzierten Temperaturlogger auf den Versuchsschläge „Dorf“ und „Park“ (eigene Darstellung)

Mess- zeitraum	Tagesdurchschnittstemperatur (°C)			
	Dorf		Park	
	Damm	Konventionell	Damm	Konventionell
20.04.2019	14,8	14,8	13,9	15,4
21.04.2019	13,8	13,4	12,6	13,9
22.04.2019	13,5	13,5	12,9	14,1
23.04.2019	14,4	14,1	13,5	14,8
24.04.2019	15,5	15,3	14,5	16,1
25.04.2019	17,9	17,5	16,4	18,0
26.04.2019	16,7	16,4	15,7	16,9
27.04.2019	14,6	14,3	13,9	14,6
28.04.2019	12,9	12,7	12,4	12,8
29.04.2019	12,9	12,6	12,4	13,0
30.04.2019	13,1	12,2	12,8	12,9
01.05.2019	12,7	11,7	13,1	12,7
02.05.2019	10,6	9,6	10,7	10,3
03.05.2019	9,5	8,4	9,2	9,2
04.05.2019	9,5	8,2	9,1	9,3
05.05.2019	10,8	9,6	10,2	10,7
06.05.2019	10,0	9,0	9,8	9,9
07.05.2019	10,7	9,6	10,2	10,6
08.05.2019	11,4	10,6	10,3	11,1
Temperatur- summe (°C)	245,2	233,3	233,3	246,3

4.2 Feldaufgang

Der Feldaufgang von zwei ausgewählten Terminen, gemittelt über beide Versuchsschläge, wurde im Boxplott (s. Abb. 12 und 13) dargestellt. Der Feldaufgang zeigte an allen Terminen stark voneinander abweichende Ergebnisse, was die Bonituren vom 07.05.2019 und 17.05.2019 verdeutlichen. Am 07.05.2019 waren im Dammverfahren zwischen 2.000 und 32.000 Pflanzen aufgegangen (s. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Beim konventionellen Verfahren war die Spanne, außer einem Ausreißer bei 18.000 Pflanzen, hingegen deutlich kleiner. Auf dem Schlag „Dorf“ waren zu diesem Zeitpunkt im Mittel etwa 15.000 Pflanzen aufgegangen, im konventionellen Verfahren konnten bereits ca. 30.000 Pflanzen gezählt werden. Bei der Fläche „Park“ war der Feldaufgang etwas schneller, in der Dammkultur konnten im Durchschnitt 19.000, im konventionellen Verfahren etwa 36.000 Pflanzen bonitiert werden. Die Unterschiede der Feldaufgangsraten in Bezug auf die Aussaatvariante sind signifikant.

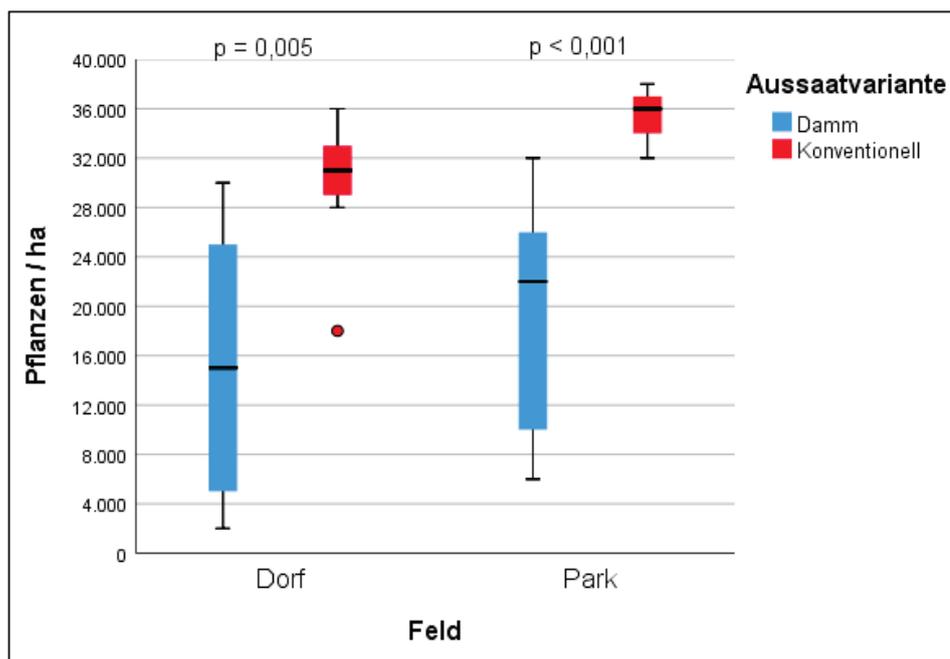


Abb. 12: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf den Feldaufgang (Pflanzen / ha) bei Mais auf zwei verschiedenen Versuchsfeldern am 07.05.2019. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)

Die Bonitur am 17.05.2019 war zugleich die letzte Bestimmung des Feldaufgangs, da sich nach diesem Zeitpunkt keine Veränderung mehr feststellen ließ. In Abb. 13 ist erneut eine hohe Streuung des Feldaufgangs im Dammverfahren zu erkennen. Durch diese abschließende Bonitur kann Bezug auf die angestrebte Aussaatstärke von 85.000 Körner

pro Hektar genommen werden (s. grüne Horizontallinie). Auf der Versuchsfläche „Dorf“ weichen die beiden Aussaatverfahren relativ gering vom Zielwert ab, die größere Streuung in den Feldaufgangsraten hat jedoch wieder die Dammkultur. Auf der Versuchsfläche „Park“ weicht die Dammvariante mit 93.000 Pflanzen/ha deutlich stärker vom Zielwert ab. Die Varianzanalyse ergab, dass der Faktor „Aussaatvariante“ auf den Feldaufgang zu diesem Zeitpunkt nur auf dem Schlag „Park“ signifikant war.

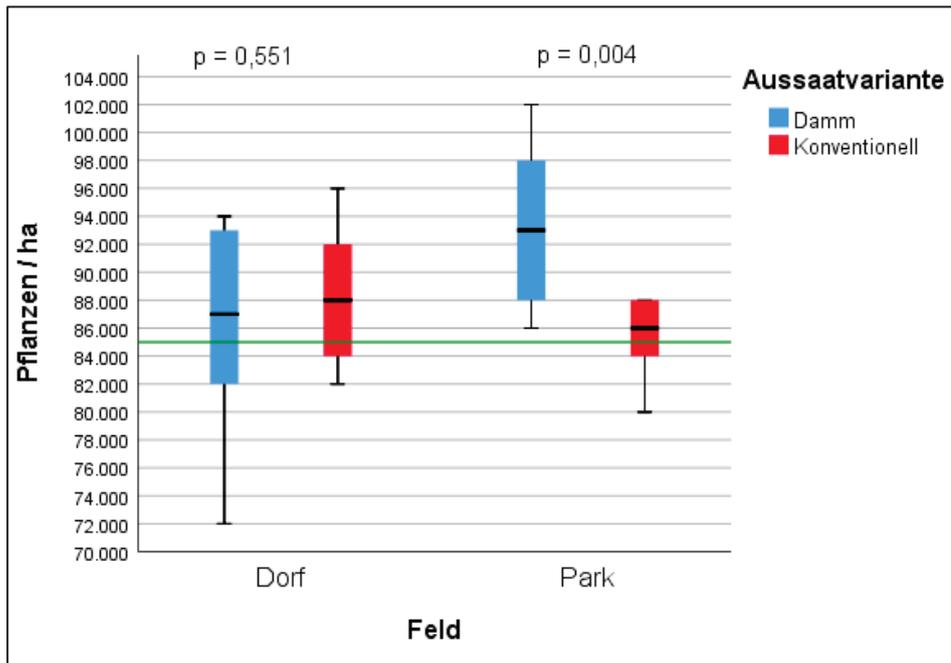


Abb. 13: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf den Feldaufgang (Pflanzen / ha) bei Mais auf zwei verschiedenen Versuchsflächen und Kennzeichnung der angestrebten Aussaatstärke (grüne Horizontallinie) am 17.05.2019. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)

4.3 Pflanzenentwicklung

In den Abbildungen 14, 15 und 16 ist die Pflanzenentwicklung drei verschiedener Termine, unterteilt in die jeweilige Versuchsfläche und Aussaatvariante, dargestellt. Hierbei wurden zusätzlich zu den Aussaatvarianten auch die beiden Versuchsschläge unterteilt, da sich der Einfluss der jeweiligen Maissorte im Laufe der Bonitur bemerkbar machte. Die in den Abbildungen fehlenden Pflanzen, bezogen auf die jeweilige Feldaufgangsrate, hatten zum Zeitpunkt der Bonitur ein niedrigeres Blattstadium. In allen Abbildungen ist erkennbar, dass im konventionellen Aussaatverfahren mehr Pflanzen mit höherem Blattstadium standen (eine Ausnahme bildet der Schlag „Park“ am 17.06.2019). Durch die Varianzanalyse konnte für die ersten beiden Boniturtermine gezeigt werden, dass der Einfluss der Aussaatvariante in Bezug auf das Blattstadium signifikant ist, auch wenn der Schlag „Park“ am 17.06.2019 nur tendenzielle Signifikanz aufweist. Für die Bonitur am 07.07.2019 konnte nur für den Schlag „Dorf“ ein signifikanter Einfluss der Aussaatvariante auf das Blattstadium festgestellt werden.

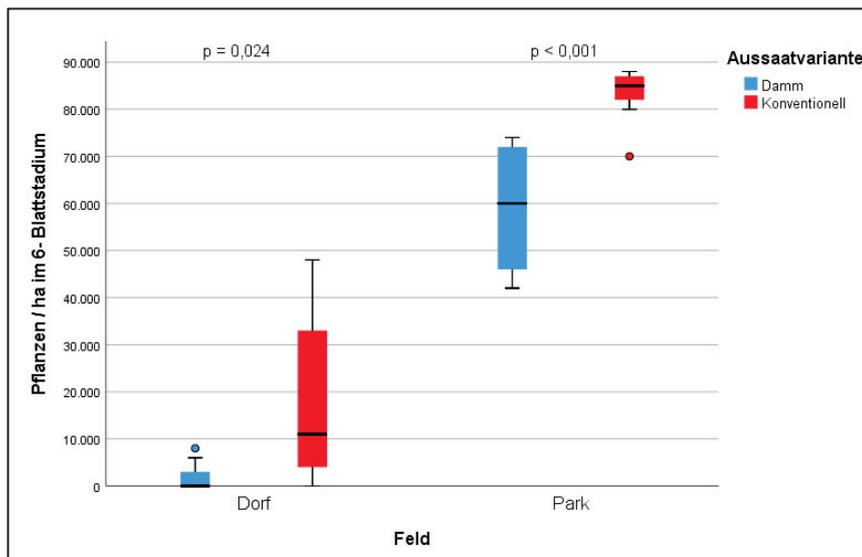


Abb. 14: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf das Blattstadium bei Mais auf zwei verschiedenen Versuchsflächen am 31.05.2019. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)

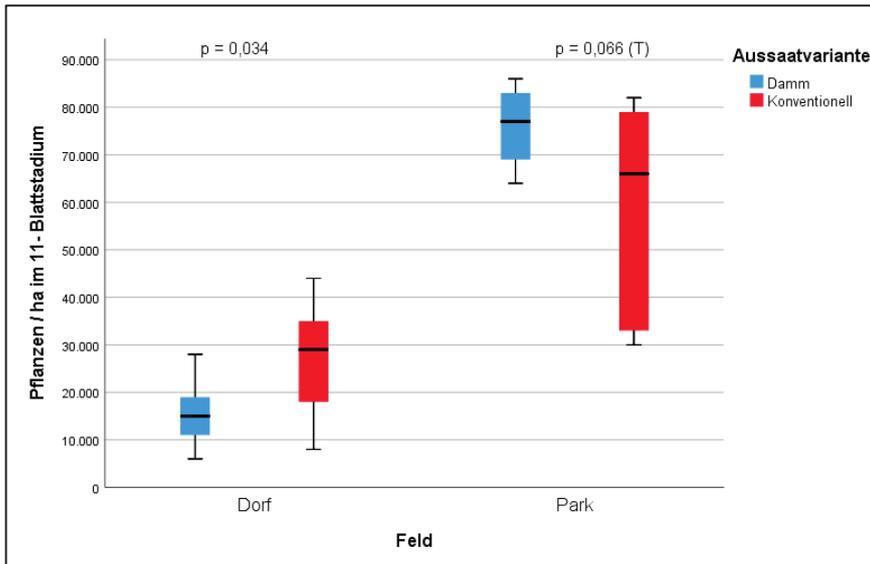


Abb. 15: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf das Blattstadium bei Mais auf zwei verschiedenen Versuchsflächen am 17.06.2019. $\alpha = 0,05$; T = tendenzielle Unterschiede ($0,05 < p < 0,10$) (eigene Darstellung)

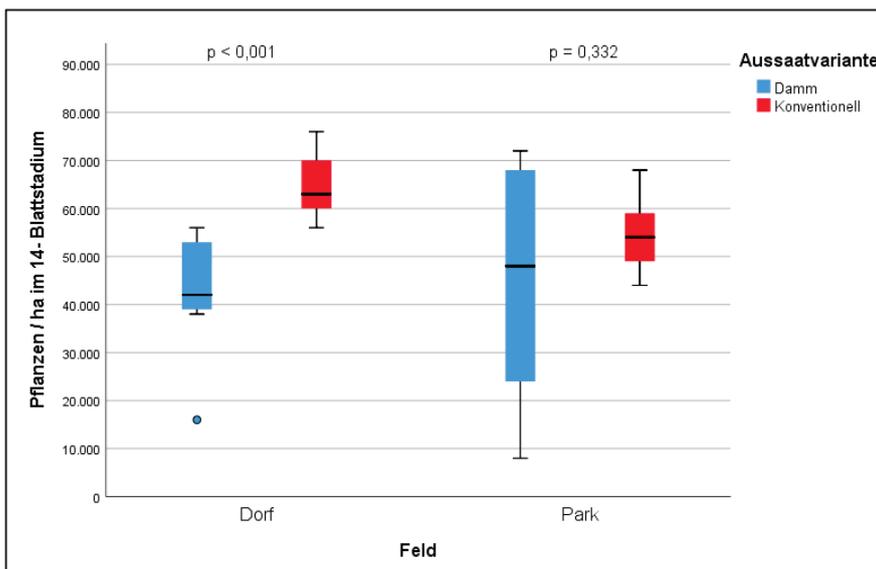


Abb. 16: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf das Blattstadium bei Mais auf zwei verschiedenen Versuchsflächen am 07.07.2019. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)

4.4 Pflanzenanalyse

In den Abbildungen 17 bis 20 wird lediglich Bezug auf die Trockenmasseerträge genommen, da die Frischmasseerträge aufgrund des variierenden Wassergehalts wenig aussagekräftig sind. Zusätzlich zur Trockenmassebestimmung (Abb. 17 bis 19) der Ganzpflanzen wird in Abbildung 20 die Trockenmasse der Kolben dargestellt. Im Vergleich zur Dammkultur lagen für das konventionelle Aussaatverfahren im Durchschnitt immer höhere Trockenmasseerträge vor. Jedoch gab es nur für den ersten Termin (12.06.2019) einen signifikanten Unterschied zwischen dem Faktor „Aussaatvariante“ und dem Trockenmasseertrag.

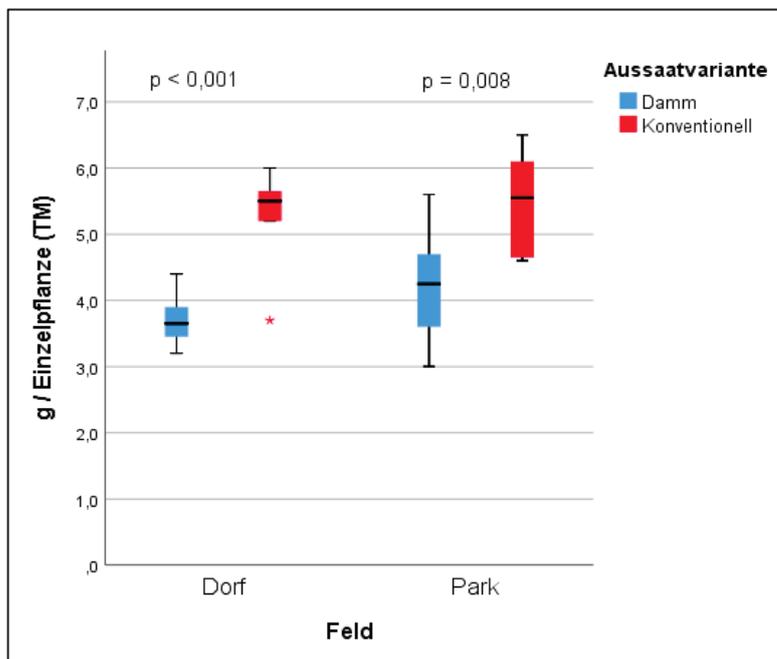


Abb. 17: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf den Trockenmasseertrag bei Mais auf zwei verschiedenen Versuchsflächen am 12.06.2019. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)

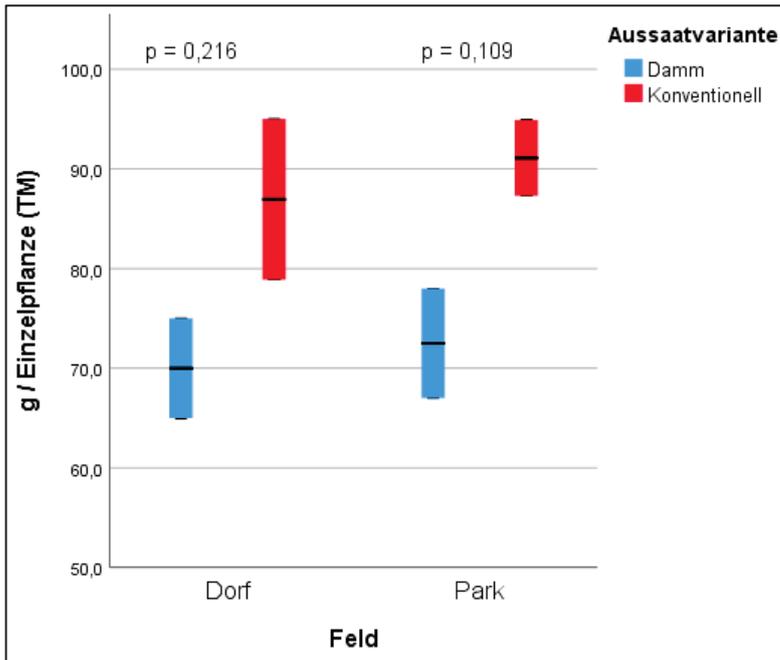


Abb. 18: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf den Trockenmasseertrag bei Mais auf zwei verschiedenen Versuchsflächen am 10.07.2019. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)

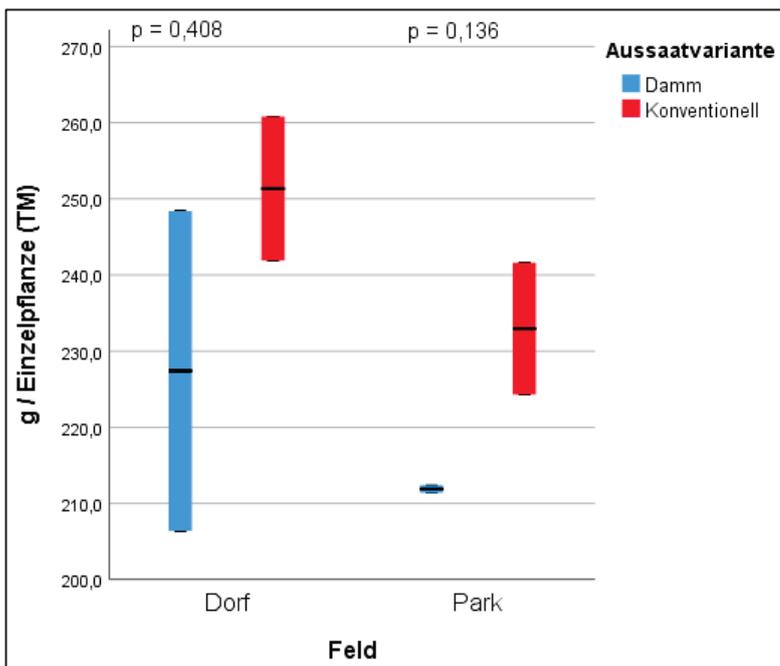


Abb. 19: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf den Trockenmasseertrag bei Mais auf zwei verschiedenen Versuchsflächen am 02.09.2019. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)

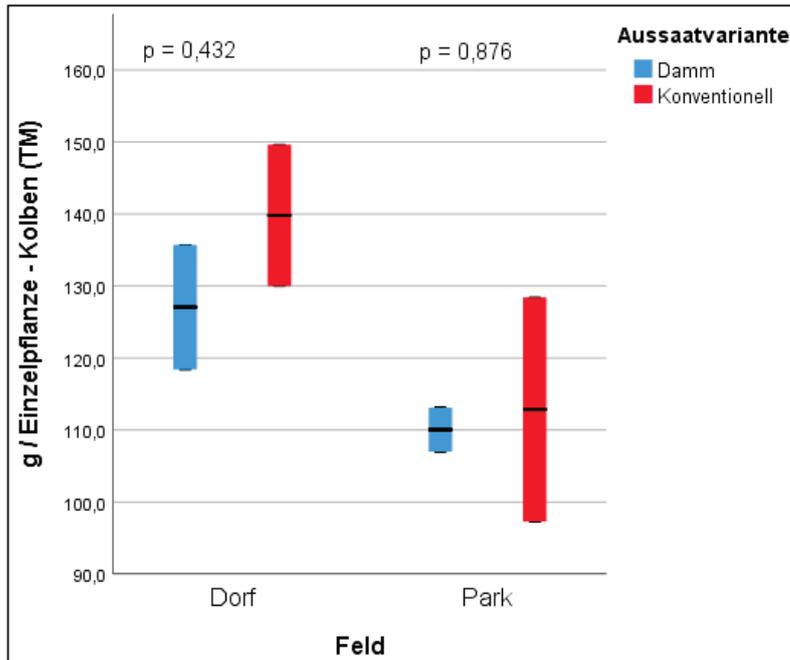


Abb. 20: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf den Trockenmasseertrag der Kolben bei Mais auf zwei verschiedenen Versuchsflächen am 02.09.2019. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)

Die Abbildungen 21 bis 23 zeigen die Ergebnisse der Analyse der geschnittenen Maispflanzen im 6-Blattstadium auf Mikro- und Makronährstoffe. Der Einfluss des Aussaatverfahrens auf die analysierten Werte für Stickstoff und Schwefel war nicht signifikant. Beim Makronährstoff Phosphor zeigten sich tendenzielle Unterschiede in Bezug auf die Aussaatvariante ($p = 0,062$). Der Phosphorgehalt lag im konventionellen Verfahren im Schnitt um 0,05 % höher als in der Dammkultur (s. Abb. 22). Die Kaliumgehalte waren bei der Dammkultur im Schnitt um 0,27 % höher, der Unterschied ist signifikant (s. Abb. 21). Hingegen zeigte das konventionelle Verfahren in Bezug auf die Bor- und Zinkversorgung signifikant höhere Gehalte. Die Gehalte im konventionellen Verfahren überstiegen die der Dammkultur im Schnitt bei Bor um 3,75 mg/kg und bei Zink um 8,5 mg/kg in der Trockenmasse (s. Abb. 23).

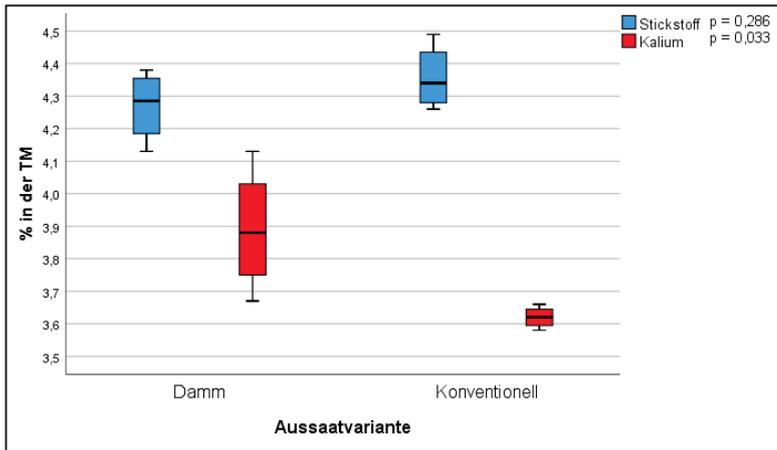


Abb. 21: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf den Stickstoff- und Kaliumgehalt in Maispflanzen gemittelt über zwei verschiedene Versuchsflächen am 12.06.2019. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)

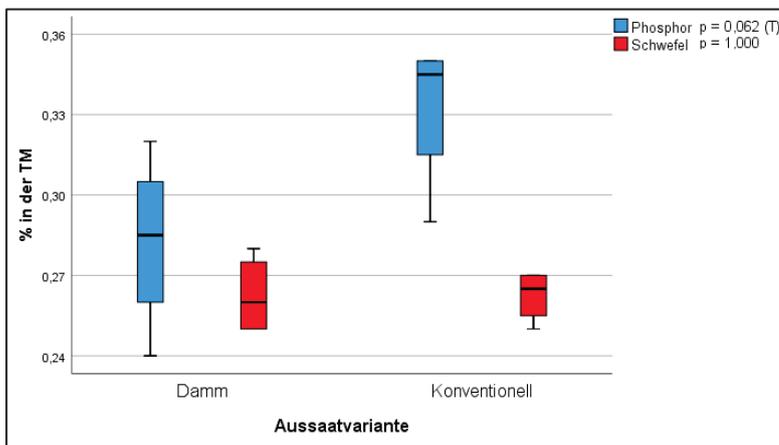


Abb. 22: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf den Phosphor- und Schwefelgehalt in Maispflanzen gemittelt über zwei verschiedene Versuchsflächen am 12.06.2019. $\alpha = 0,05$; T = tendenzielle Unterschiede ($0,05 < p < 0,10$) (eigene Darstellung)

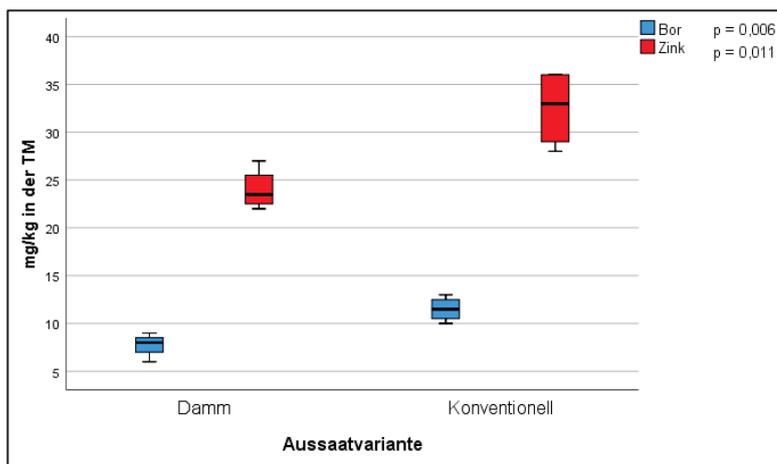


Abb. 23: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf den Bor- und Zinkgehalt in Maispflanzen gemittelt über zwei verschiedene Versuchsflächen am 12.06.2019. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)

4.5 Bestockung

Abbildung 24 zeigt die Spanne der beiden Aussaatvarianten in Bezug auf die unbestockten Pflanzen aller Boniturparzellen. Es wird deutlich, dass im Dammverfahren deutlich mehr Pflanzen unbestockt blieben. Dieser Unterschied ist für beide Versuchsflächen signifikant. Auf dem Schlag „Dorf“ waren in der Dammkultur 73,3 % und im konventionellen nur 9,3 % der Pflanzen unbestockt. Beim Schlag „Park“ bildeten hingegen im Schnitt 96,5 % der Pflanzen des Dammverfahren und 54,1 % der Pflanzen im konventionellen Verfahren keine Nebentriebe.

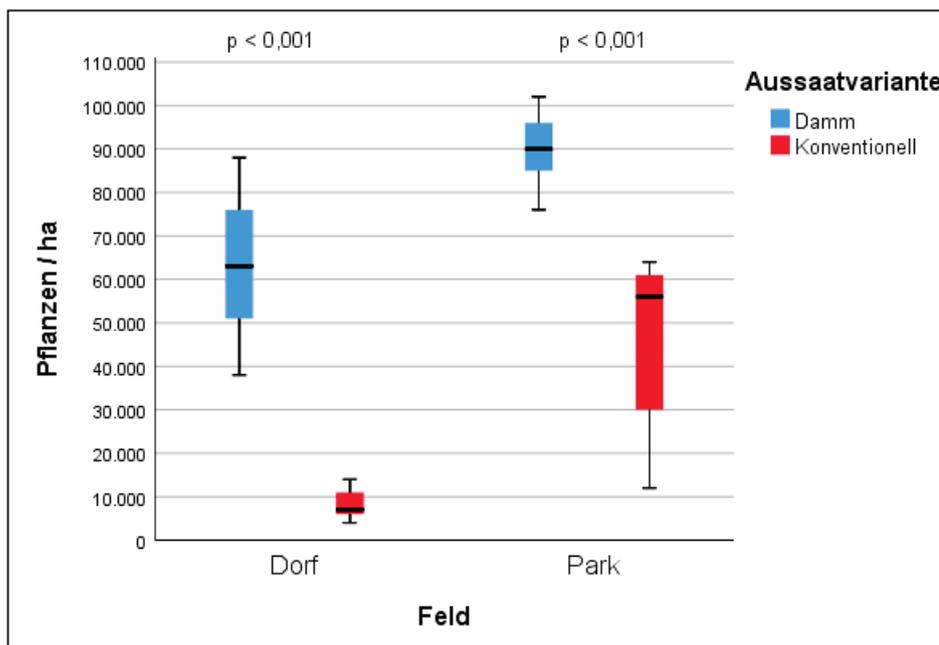


Abb. 24: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf die Anzahl unbestockter Pflanzen bei Mais auf zwei verschiedenen Versuchsflächen am 20.06.2019. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)

4.6 Ertrag

Die Frischmasseerträge der beiden Versuchsschläge und Aussaatvarianten wurden durch das Verwiegen aller Fuhren auf der betriebseigenen Fahrzeugwaage ermittelt. Für beide Schläge wurde pro Aussaatverfahren ein Frischmasseertrag ermittelt (s. Abb. 25). Während auf dem Schlag „Dorf“ 50,57 t/ha in der Dammkultur und 45,44 t/ha im konventionellen Verfahren geerntet wurde, standen auf Schlag „Park“ 43,14 t/ha im Damm- und 39,02 t/ha im konventionellen Verfahren zu Buche. Der ertragliche Unterschied zwischen den beiden Aussaatverfahren ist aufgrund des geringen Stichprobenumfangs jedoch nicht signifikant.

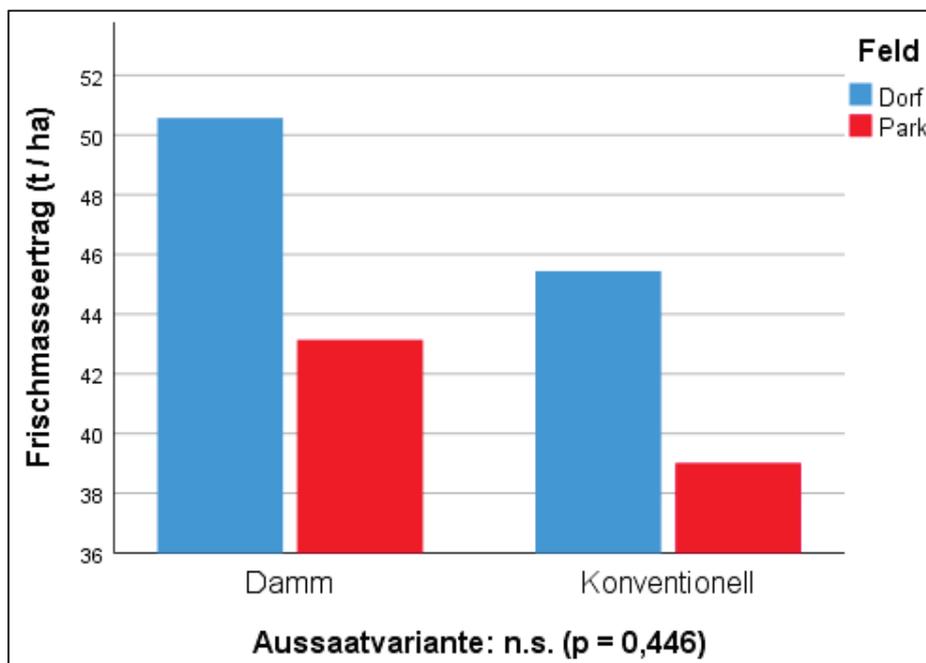


Abb. 25: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf den Frischmasseertrag bei Mais auf zwei verschiedenen Versuchsflächen am 20.06.2019. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)

Für die Ermittlung der Trockenmasseerträge konnten zwei verschiedene Analyseverfahren herangezogen werden (HarvestLab und LUFA). Somit konnten für beide Versuchsflächen und Aussaatvarianten jeweils zwei Trockenmasseerträge errechnet werden (s. Abb. 26 und 27). Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs können diese Erträge jedoch nicht statistisch abgesichert werden.

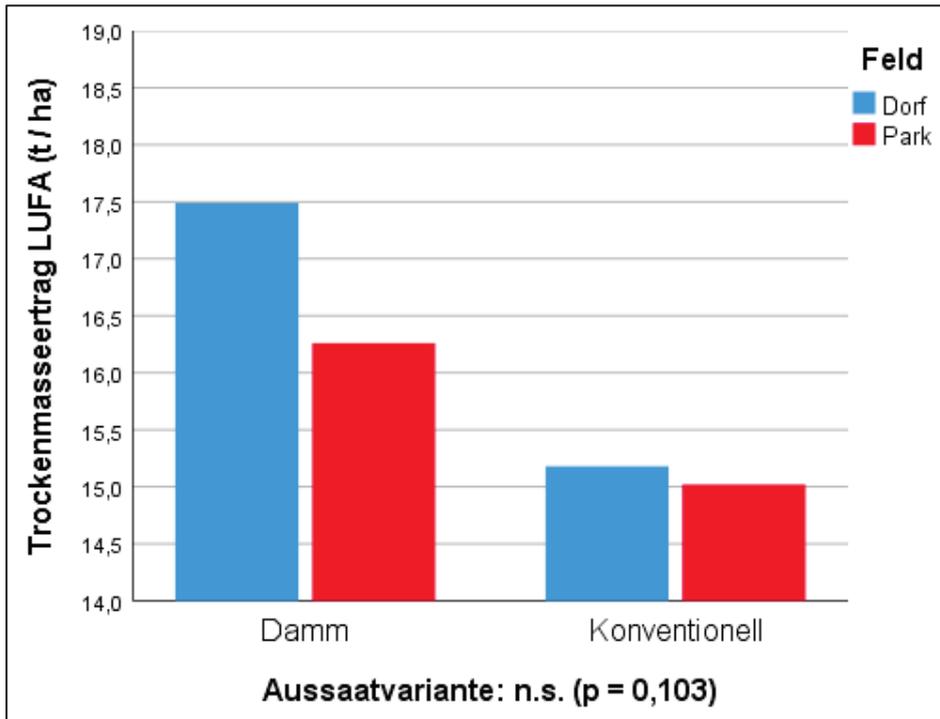


Abb. 26: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf den Trockenmasseertrag (LUFA) bei Mais auf zwei verschiedenen Versuchsfeldern am 20.06.2019. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)

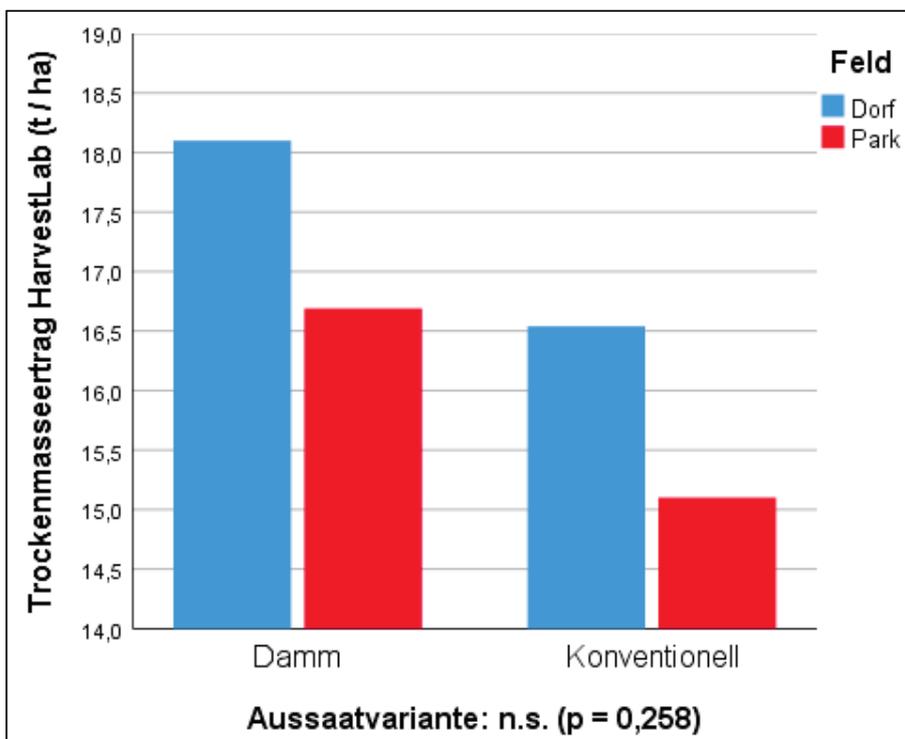


Abb. 27: Einfluss des Faktors „Aussaatvariante“ auf den Trockenmasseertrag (HarvestLab) bei Mais auf zwei verschiedenen Versuchsfeldern am 20.06.2019. $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)

4.7 Zusammenhänge von Eigenschaften

4.7.1 Feldaufgang und Pflanzenentwicklung

Die Abbildungen 28 und 29 zeigen den Zusammenhang von Feldaufgang und Blattstadium. Die Korrelation auf der Versuchsfläche „Dorf“ war positiv, wobei sich 36,1 % der Varianz im Blattstadium durch den Feldaufgang erklären lassen. Auf dem Schlag „Park“ war der Zusammenhang nur tendenziell vorhanden ($p = 0,051$) und die Korrelation war hingegen negativ.

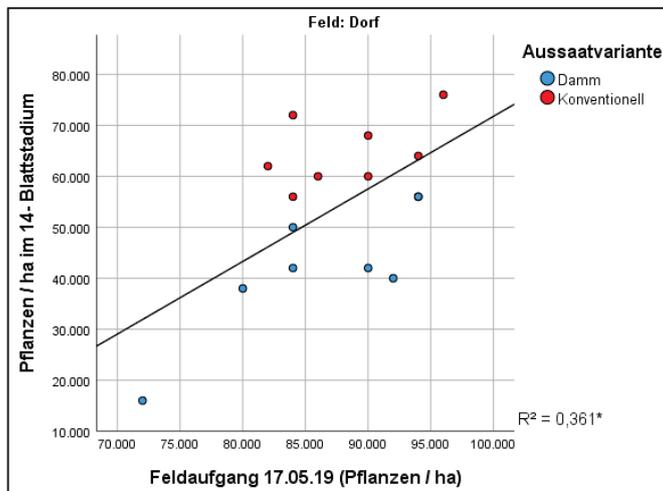


Abb. 28: Zusammenhang der im höchstmöglichen Blattstadium befindlichen Maispflanzen (Pflanzen / ha) und dem Feldaufgang am 17.05.2019 (Pflanzen / ha) auf Versuchsfläche „Dorf“; * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)

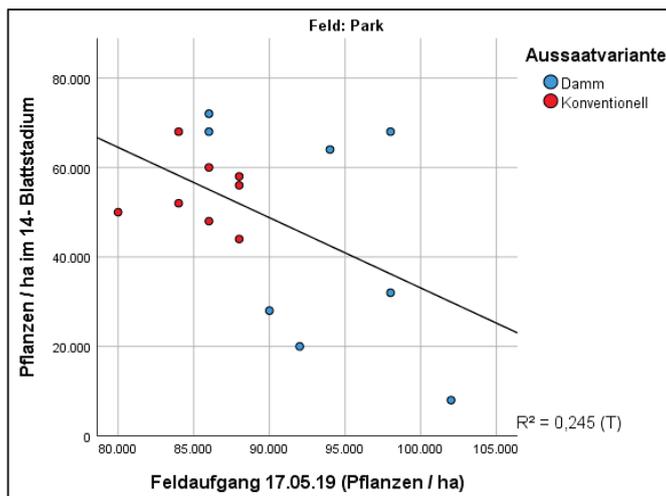


Abb. 29: Zusammenhang der im höchstmöglichen Blattstadium befindlichen Maispflanzen (Pflanzen / ha) und dem Feldaufgang am 17.05.2019 (Pflanzen / ha) auf Versuchsfläche „Park“; (T) = tendenzielle Unterschiede ($0,05 < \alpha < 0,10$) (eigene Darstellung)

4.7.2 Bestockung und Pflanzenentwicklung

Abbildung 30 und 31 zeigen den Zusammenhang von Bestockung und Blattstadium. Beide Korrelationen waren positiv, die auf Versuchsfläche „Park“ jedoch nicht signifikant. Auf Schlag „Dorf“ können 50,6 % der Varianz im Blattstadium durch die Bestockung erklärt werden.

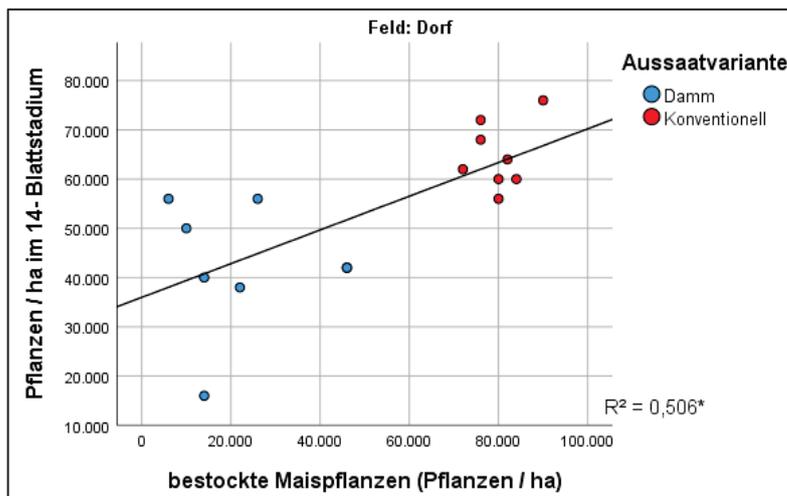


Abb. 30: Zusammenhang der im höchstmöglichen Blattstadium befindlichen Maispflanzen (Pflanzen / ha) und den bestockten Maispflanzen (Pflanzen / ha) auf Versuchsfläche „Dorf“; * kennzeichnet Signifikanz bei einem Niveau von $\alpha = 0,05$ (eigene Darstellung)

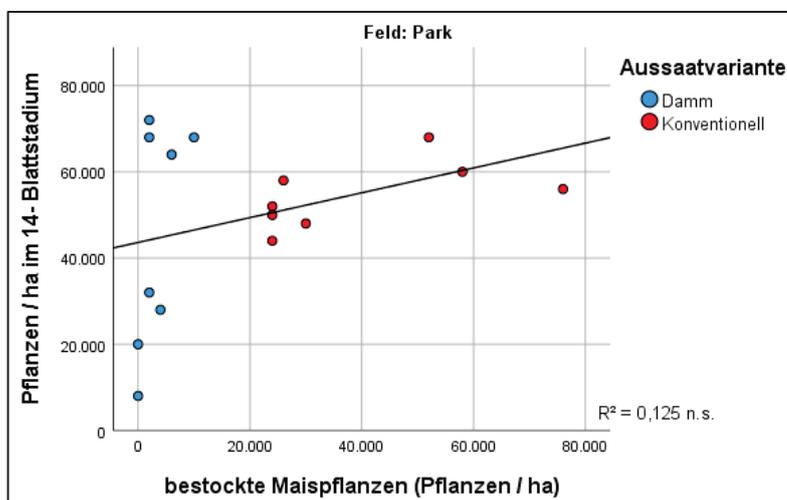


Abb. 31: Zusammenhang der im höchstmöglichen Blattstadium befindlichen Maispflanzen (Pflanzen / ha) und dem Feldaufgang am 17.05.2019 (Pflanzen / ha) auf Versuchsfläche „Park“; n.s. = nicht signifikant (eigene Darstellung)

5. Wirtschaftlichkeit

Neben pflanzenbaulichen Aspekten stellt sich die Frage der Wirtschaftlichkeit beider Verfahren des Maisanbaus. Wie bereits erwähnt, wurde der Versuchsaufbau so einfach wie möglich gehalten. Eine exakte Beerntung inklusive Einwiegen der unterschiedlichen Varianten fand zwar statt, jedoch können diese Ergebnisse aufgrund fehlender Wiederholungen nicht statistisch abgesichert werden. Dennoch können die erfassten Ertragsergebnisse zu einer grundlegenden wirtschaftlichen Einordnung der Verfahren beitragen. Wie bereits in Kapitel 3.6.6 beschrieben, wurden beide Schläge in ‚Vorgewände‘, ‚Konventionell‘ und ‚Damm‘ unterteilt, wobei das Vorgewände im Ertragsvergleich unberücksichtigt bleibt. Die in Tabelle 12 genannten Nettoerträge beziehen sich auf den durchschnittlichen Gesamtertrag beider Ackerschläge, unterteilt in Damm- sowie konventionelle Parzelle (s. Tab. 9).

Tab. 9: Ernteerträge (FM) beider Versuchsschläge (eigene Darstellung; Ertragsdaten nicht statistisch absicherbar)

Feld	Aussaatvariante	FM- Ertrag
Dorf	Damm	50,57 t/ha
	Konventionell	45,44 t/ha
Park	Damm	43,14 t/ha
	Konventionell	39,02 t/ha
Gesamt	Damm	46,9 t/ha
	Konventionell	42,2 t/ha

Die Behandlung der Vorgewände auf den beiden Versuchsschlägen mit Glyphosat wurde in der Gegenüberstellung nicht berücksichtigt, da es sich nur um eine behandelte Teilfläche der Schläge handelt, welche im Ernteertrag ohnehin keine Berücksichtigung findet. Im Bereich Maschinenkosten gibt es aufgrund der grundlegend unterschiedlichen Anbauverfahren variierende Kostenstellen (s. Tab. 10). Für die Kosten der Maßnahmen die vom Landwirtschaftsbetrieb durchgeführt wurden, wurden Preise vom Maschinenring MV herangezogen. Lediglich die Gülleausbringung, welche mit 3 €/m³ (35 m³=105 €) gerechnet wurde, erfolgte in beiden Varianten identisch. Da im Innenstück beider Flächen auf den Einsatz von Glyphosat verzichtet wurde, ließ sich die Zwischenfrucht in der Dammvariante nur bei zweimaliger Bearbeitung mit der Scheibenegge ausreichend zerkleinern und einarbeiten. Normalerweise würde ein flacher Arbeitsgang zur Gülleearbeitung ausreichen, was die Kosten im Dammverfahren um 20 €/ha senken würde. Allerdings kämen in manchen Jahren dann zusätzliche Kosten von

10 €/ha für eine ganzflächige Pflanzenschutzmaßnahme (Glyphosat) hinzu. Weiterhin spielen die Kosten der separaten Düngerausbringung im Dammverfahren (20 €/ha) eine Rolle, welche aufgrund der fehlenden Vorrichtung zur Unterfußdüngerablage beim „Dammprofi“ zustande kommen. Die Einebnung der Dämme wurde ebenfalls als Kostenstelle für den Dammanbau gewertet, da sonst betriebsüblich nach dem Mulchen der Stoppelreste direkt der Pflug zum Einsatz kommt. Deutliche Kostenunterschiede gibt es jedoch vor allem beim Arbeitsgang ‚Maislegen‘ durch die jeweiligen Lohnunternehmen. Während das Lohnunternehmen Blunk für das reine Maislegen 50 €/ha verlangte, berechnete das Lohnunternehmen Baumann 130 €/ha aufgrund der in Kombination durchgeführten Bodenbearbeitung.

Tab. 10: Kostenkalkulation beider Verfahren (eigene Darstellung)

Maßnahme	Konventionell (€/ha)	Dammkultur (€/ha)
Gülleausbringung	105	105
Pflügen (mit Packer)	80	
Scheibenegge 2x		40
Grubber (Saatbett)	20	
Düngerausbringung		20
Pflanzenschutz	10	10
Einebnung Dämme		20
Maislegen	50	130
Summe Maschinenkosten	265	325
Saatgut	139	139
Dünger	85	85
Pflanzenschutzmittel	47	47
Summe Direktkosten	271	271
Summe Variable Kosten	536	596
Nettoertrag (t/ha)	42,2	46,9
Grundpreis (€/t)	28	28
Summe Leistungen	1.181,6	1.313,2
Direktkostenfreie Leistung	910,6	1.042,2
Deckungsbeitrag	645,6	717,2

Während im Flächenbau 42,2 t/ha FM erzielt wurden, konnte die Dammkultur mit 46,9 t/ha FM überzeugen. Der Grundpreis wurde auf 28 €/t (ab Halm) beziffert, was üblichen Konditionen in der Region entspricht. Betrachtet man ausschließlich den monetären Mehraufwand der Dammkultur von 60 €/ha, so benötigt man bei einem Grundpreis von 28 €/t nur etwas mehr als 2 t/ha Mehrertrag, um beide Verfahren kostengleich zu gestalten.

6. Diskussion

6.1 Einfluss des Faktors Aussaatvariante

Für beide Versuchsschläge stehen für den Zeitraum vom 20.04.-08.05.2019 repräsentative Daten über die Bodentemperatur zur Verfügung. Die Temperaturmessungen wurden für beide Aussaatvarianten auf dem Schlag „Dorf“ auf dem vermeintlich besseren und auf dem Schlag „Park“ auf dem vermeintlich schlechteren Standort durchgeführt. Die Temperaturdaten sind für beide Schläge in Bezug auf die Aussaatverfahren signifikant verschieden. Während auf dem Schlag „Dorf“ im Dammkulturverfahren eine höhere Temperatursumme erreicht werden konnte, war es auf dem Schlag „Park“ genau umgekehrt. Laut Schwarz (2019) ist die Einstrahlungsintensität bei Dammkulturen höher, wodurch höhere Bodentemperaturen erreicht werden können. Im Verfahrenvergleich am Standort Gehmkendorf konnten jedoch nur auf dem etwas lehmigeren Standort der Versuchsfläche „Dorf“ höhere Durchschnittstemperaturen in der Dammkultur erreicht werden. Auf dem etwas schlechteren, sandigeren Standort des Schlags „Park“ verzeichnete das konventionelle Verfahren fast durchgängig höhere Temperaturen. Grund dafür kann sein, dass sandigere Böden tagsüber zwar schneller erwärmt werden, nachts hingegen auch deutlich schneller auskühlen und der Effekt der größeren Oberfläche der Dämme negativ dazu beiträgt (DWD 2012; Herder 1999). Ein grundsätzlicher Temperaturvorteil kann dem Dammkulturverfahren demnach nicht zugesprochen werden. Resultierend daraus konnte der Mais im Damm, in Bezug auf den Zeitpunkt des Feldaufganges, die tiefere Saatkornablage nicht durch vermeintlich höhere Bodentemperaturen kompensieren.

Bei den Bonituren des Feldaufganges wurde deutlich, dass das Auflaufen der Maispflanzen in der Dammkultur auf beiden Schlägen wesentlich später begann. Dies kann auf die bewusste etwas tiefere Saatkornablage und die schwierigeren Auflaufbedingungen, aufgrund der organischen Masse im Saathorizont (da nicht untergepflügt), zurückgeführt werden. Deutlich wird jedoch vor allem am Boniturtermin des 07.05.2019, dass in der Dammkultur eine große Streuung der Feldaufgangsraten vorlag, während der Feldaufgang des konventionellen Verfahrens über alle Parzellen relativ gleichmäßig verlief. Eine mögliche Erklärung dafür könnten durch die Maislegemaschine ausgelöste variierende Ablagetiefen des Maissaatgutes sein. Als möglicher Auslöser kann wiederum der Anteil organischer Masse im Saathorizont

gesehen werden. Nach der letzten Bonitur am 17.05.2019 konnte Bezug auf die angestrebte Aussaatstärke von 85.000 Körnern / ha genommen werden. Im Mittel befanden sich beide Aussaatvarianten auf beiden Versuchsschlägen über dem Zielwert. Während die Feldaufgangsraten in der Dammkultur zwischen 72.000 und 102.000 Pflanzen / ha streuten, bewegten sie sich im konventionellen Verfahren zwischen 80.000 und 96.000 Pflanzen / ha. Demnach gab es Parzellen in der Dammkultur, in denen entweder deutlich zu wenig Körner gelegt wurden, oder nicht alle Körner aufgelaufen sind, bzw. einige Pflanzen abstarben und Parzellen, in denen deutlich zu viele Pflanzen gelegt wurden. Für die Beurteilung der exakten Arbeitsweise der beiden verschiedenen Maislegemaschinen muss zwangsläufig auf die Feldaufgänge oberhalb des Zielwertes von 85.000 Körnern / ha geschaut werden, da hier andere Einflüsse ausgeschlossen werden können. Während auf dem Schlag „Dorf“ im konventionellen Verfahren geringfügig mehr Parzellen in Richtung zu hoher Feldaufgangsraten streuten, konnten auf dem Schlag „Park“ deutlich zu viele Maispflanzen in der Dammkultur gezählt werden. In Kapitel 4.3 „Pflanzenentwicklung“ wurden Unterschiede beider Aussaatvarianten in Bezug auf das Blattstadium an drei ausgewählten Terminen untersucht. Wie bereits bei der Bonitur des Feldaufgangs deutlich wurde, hatte der konventionell gelegte Mais auch in Bezug auf das Blattstadium zum Beginn der Wachstumsphase Vorteile. Auf dem Schlag „Park“ konnte dieser Vorteil jedoch am zweiten und dritten Termin nicht zugunsten des konventionellen Verfahrens bestätigt werden. Entscheidenden Einfluss darauf kann der Unterfußdünger gehabt haben. Im konventionellen Verfahren wurde dieser Dünger zielgenau unterhalb des Saatkorns platziert, in der Dammkultur hingegen per Schleuderstreuer ausgebracht und in die obersten 10 cm des Bodens eingemischt. Der Effekt dieses Düngers, die Maispflanze in der Jugendentwicklung gezielt mit den nötigen Nährstoffen zu versorgen, kam im Dammverfahren wahrscheinlich wesentlich geringer zum Tragen. Gerade zum Beginn der Wachstumsperiode konnten die Maispflanzen im konventionellen Verfahren deshalb schneller mehr Blattmasse bilden. Zum Ende der vegetativen Entwicklung scheint sich dieser Effekt vor allem auf dem Schlag „Park“ egalisiert zu haben, da keine signifikanten Entwicklungsvorteile des konventionellen Verfahrens mehr erkennbar waren. Das 14-Blattstadium galt als das höchstmögliche auf beiden Versuchsfeldern. Die deutlichen Entwicklungsunterschiede auf beiden Flächen

können jedoch auch auf die zwei verschiedenen Maissorten (Welas, LG 30.224) zurückgeführt werden.

Durch die „Pflanzenanalyse“ wurde gezeigt, dass im konventionellen Verfahren, parallel zur schnelleren Blattentwicklung, auch die Trockenmassebildung anfänglich signifikant höher war. Die höheren Trockenmasseerträge der letzten beiden Boniturtermine können aufgrund eines zu geringen Stichprobenumfangs nicht statistisch abgesichert werden.

Um den Einfluss des Unterfußdüngers auf die Maispflanzen in den beiden Aussaatverfahren zu analysieren, galt es zum optimalen Zeitpunkt auf Makro- und Mikronährstoffe zu untersuchen. Untersucht wurde auf die Makronährstoffe Stickstoff, Phosphor, Kalium und Schwefel und auf die Mikronährstoffe Bor und Zink, wobei sich nur Kalium nicht im eingesetzten Unterfußdünger befand. Für Stickstoff und Schwefel konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Aussaatvarianten festgestellt werden. Während die Dammvariante signifikant höhere Kaliumgehalte erzielte, wurden im konventionellen Verfahren tendenziell höhere Phosphorgehalte festgestellt. Bei den Mikronährstoffen Bor und Zink konnten wiederum im konventionellen Verfahren höhere Gehalte erzielt werden. In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass Bodenproben beider Versuchsflächen zeigten, dass eine optimale Versorgung mit den wichtigsten Nährstoffen (Phosphor, Kalium, Magnesium) vorherrschte. Kalium, der als einziger Nährstoff nicht im Unterfußdünger enthalten war, war in den Pflanzen der Dammkulturparzellen höher angereichert. Ein möglicher Erklärungsansatz könnte dabei die unterschiedliche Bodenbearbeitung sein. Beim konventionellen Verfahren wurden die Nährstoffe, die vor allem durch die hofeigene Rindergülle zugeführt wurden, mit dem Pflug auf etwa 25 cm Tiefe „vergraben“. Im Dammverfahren erfolgte hingegen nur eine flache Einarbeitung des Düngers und zusätzlich das gezielte Anhäufeln des Oberbodens um den Bereich des Saatkorns. Laut Strotmann (2018) ist dies die optimale Variante um die Nährstoffversorgung des Mais in der Jugendentwicklung sicherzustellen. Grund für die tendenziell höheren Phosphorgehalte im konventionellen Verfahren kann das sehr schlechte Phosphat-Aneignungsvermögen in der Jugendphase des Mais sein (LWK NRW 2015b). Durch die gezielte Ablage des Düngerbandes unter der Saatreihe im konventionellen Verfahren, konnte die bestmögliche Nährstoffzufuhr zur Wurzel sichergestellt werden. Der Phosphatvorrat in der Dammkultur war wahrscheinlich ebenfalls ausreichend vorhanden, konnte jedoch erst später erschlossen werden. Einen

ähnlichen Erklärungsansatz bieten die signifikant höheren Bor- und Zinkgehalte. In beiden Aussaatvarianten war die Nährstoffkonzentration in der Bodenlösung durch identische Düngung gleich hoch. Doch zumindest in der Jugendentwicklung ließ sich nachweisen, dass die Maiswurzeln der konventionellen Variante die Nährstoffe schneller erschließen und in die Trockenmasse einbauten. Dies könnte auf die kürzere Entfernung von den Wurzeln bis zum zugeführten Nährstoff zurückgeführt werden.

Kapitel 4.5 „Bestockung“ zeigt, dass auf beiden Versuchsschlägen deutlich mehr Pflanzen des konventionellen Verfahrens Nebentriebe bildeten. DEKALB (1970) macht für die Bestockungsneigung der Maispflanzen vor allem gute Wachstumsbedingungen mit einer hohen Nährstoffkonzentration zu Beginn der Wachstumsphase verantwortlich. Laut PIONEER (2012) erfolgt die Anlage von Bestockungstrieben bis zum 6-Blattstadium. Die vermehrte Anlage von zusätzlichen Trieben im konventionellen Verfahren kann wiederum mit der gezielteren Düngerbandablage in Verbindung gebracht werden. Eine weitere Ursache kann der allgemein etwas spätere Wachstumsbeginn des Maises in Dämmen durch späteres Auflaufen sein.

Die Ernte der beiden Versuchsflächen wurde mittels betriebseigener Fuhrwaage verwogen und den jeweiligen Aussaatvarianten zugeordnet. Aufgrund des zu geringen Stichprobenumfangs stehen weder für die Frischmasse- noch für die Trockenmasseerträge signifikante Daten vor. Jedoch sollte erwähnt werden, dass das Dammkulturverfahren auf beiden Schlägen deutlich höhere Erträge realisieren konnte (nicht absicherbar). Grund dafür kann die deutlich stärkere Wurzelmassebildung der Maispflanzen im Damm sein (s. Anhang 1), wodurch zum Ende der Wachstumsphase Wasser und Nährstoffe besser erreicht werden konnten. Ausschlaggebend für die größere Wurzelmassebildung kann das höhere durchwurzelbare Bodenvolumen sein, welches durch die Tiefenlockerung auf bis zu 40 cm entstanden ist. Beim konventionellen Verfahren war deutlich zu erkennen, dass die Wurzeln nicht weiter als bis zur Pflugsohle von 30 cm Tiefe reichten. In Bezug auf Wasserverfügbarkeit ist zu erwähnen, dass durch die tiefe Lockerung unterhalb der geformten Dämme vor allem die Starkniederschläge im Zeitraum vom 11.-13.06.2019 optimal in den Boden eindringen konnten. In Anhang 2 wird deutlich, dass es im konventionellen Verfahren teilweise zu Staunässe in den Senken der Ackerschläge kam oder Niederschläge direkt abflossen und dem Mais somit nicht mehr zur Verfügung standen.

6.2 Zusammenhänge von Eigenschaften

Da keine repräsentativen Ertragsdaten vorlagen, wurden in Kapitel 4.7 lediglich einzelne Eigenschaften untereinander auf Signifikanz geprüft. Für die Bonituren die auf beiden, bzw. auf einer Versuchsfläche, signifikante Zusammenhänge zeigten, wurde ein Streudiagramm erstellt.

Auf der Fläche „Dorf“ ließen sich 36,1 % der Varianz der Pflanzen, die das höchstmögliche Stadium (14-Blattstadium) erreichten, durch den endgültigen Feldaufgang erklären. Der Zusammenhang war positiv und signifikant. Auf der Versuchsfläche „Park“ konnte hingegen ein negativer tendenzieller Zusammenhang festgestellt werden. Hier ließen sich 24,5 % der Varianz der im höchstmöglichen Blattstadium befindlichen Pflanzen durch den Feldaufgang erklären. Man kann sagen, dass auf der Fläche „Dorf“, mit steigender Pflanzenzahl pro Hektar, mehr Pflanzen das höchstmögliche Blattstadium erreichten, auf dem Schlag „Park“ hingegen weniger. Diese Ergebnisse zeigen, dass man die Aussaatstärke auf der Fläche „Dorf“ etwas höher und auf der Fläche „Park“ etwas niedriger hätte ansetzen können. Entscheidende Faktoren, die den größten Einfluss auf die Aussaatstärke haben, sind die Bodengüte, die Maissorte und der Aussaatzeitpunkt (Lütke Entrup et al. 2013), weshalb die Ursache für verschiedene Tendenzen im Wachstum von Mais schwer erforschbar ist.

Für den Zusammenhang zwischen der Anzahl an Pflanzen, die das höchstmögliche Blattstadium erreichten, und der Anzahl bestockter Pflanzen konnte nur für den Schlag „Dorf“ eine Signifikanz festgestellt werden. 50,6 % der Varianz der im höchstmöglichen Blattstadium befindlichen Pflanzen konnten durch die Bestockungsrate erklärt werden. Grund für hohe Bestockungsraten können wie bereits in Kapitel 6.1 beschrieben gute Wachstumsbedingungen und hohe Nährstoffversorgungen sein. Abbildung 30 zeigt, dass einhergehend mit hohen Bestockungsraten auch mehr Pflanzen mit dem höchstmöglichen Blattstadium verzeichnet werden konnten. Dies stützt die Vermutung hoher Nährstoffkonzentrationen im Boden, stellt jedoch die Annahme in Frage, dass bei hohen Bestockungsraten gleichzeitig Qualitäts- und Ertragsverluste entstehen (s. Kap. 3.6.5).

6.3 Wirtschaftlichkeit

Der Kostenvergleich beider Aussaatverfahren hat gezeigt, dass die Dammkultur Einsparungspotenzial im Bereich Bodenbearbeitung bietet, da auf den teuren Pflugeinsatz verzichtet wird (s. Kap. 5). Da die Aussaat im Dammverfahren nicht nur das reine Maislegen beinhaltet, sondern zusätzlich auch eine tiefe Bodenlockerung, verlangte das ausgewählte Lohnunternehmen für seinen Dienst 80 €/ha mehr, als im konventionellen Verfahren. Die Mehrkosten von 60 €/ha in der Dammkultur, die durch den Posten der Maschinenkosten entstanden sind, müssen bei angestrebter Kostengleichheit beider Verfahren durch einen möglichen Mehrertrag erwirtschaftet werden. Andererseits kann betriebsindividuell entschieden werden, in wie weit sich höhere Verfahrenskosten (trotz höherem Ertrag) rechnen. Dabei spielt die Flächenausstattung des Betriebs eine wichtige Rolle. Für Betriebe, die wenig Anbaufläche zur Verfügung stehen haben, und für höhere Gesamterträge teure Flächen pachten oder teuren Mais zukaufen müssten, würde sich die Inkaufnahme höherer Verfahrenskosten eher bezahlt machen, als für Betriebe die ihren Maisanteil auf den eigenen Flächen ausweiten können. Beim Versuchsbetrieb am Standort Gehmkendorf liegt das Augenmerk vor allem auf der Ertragssteigerung pro Hektar genutzter Fläche, um auf den „frei werdenden“ Ackerflächen mit guter Bonität Marktfrüchte (Raps, Weizen, Gerste) produzieren zu können.

Der Kostenvergleich konnte jedoch zeigen, dass etwas mehr als 2 t/ha Mehrertrag in der Dammkultur ausreichen würden, um beide Verfahren kostengleich zu gestalten. Der im Dammverfahren über beide Schläge errechnete Mehrertrag von 4,7 t/ha (nicht statistisch absicherbar; s. Tab.9) brachte neben Ertragsvorteilen auch einen wirtschaftlichen Mehrerlös mit sich.

7. Zusammenfassung

Die Bedeutung des Silomaisanbaus, vor allem für milchviehhaltende Betriebe und Biogasanlagen, wird auch zukünftig groß sein, da es momentan wenig Alternativen für die Erzeugung eines kostengünstigen Energielieferanten im Bereich der Landwirtschaft gibt. Betriebsindividuell muss das beste Anbausystem gefunden werden, um Spitzenerträge und gute Qualitäten nachhaltig produzieren zu können.

Im Verfahrensvergleich sollte neben pflanzenbaulichen Aspekten untersucht werden, ob die Dammkultur eine mögliche Alternative zum ortsüblichen Maisanbauverfahren bieten kann. Um die regulären Betriebsabläufe nicht zu stark zu beeinflussen, wurde die Versuchsanlage auf die einfachste Variante beschränkt. Vor allem bei der Ertragsermittlung war der Stichprobenumfang hierdurch nicht ausreichend groß genug, um statistisch absicherbare Ergebnisse zu erzielen.

Um den Einfluss der Aussaatvariante auf die verschiedenen Eigenschaften (Bonituren) zu verdeutlichen, können folgende Punkte zusammengefasst werden:

- Die Unterschiede der Bodentemperaturen der beiden Aussaatvarianten waren auf beiden Versuchsflächen signifikant. Auf der Fläche „Dorf“ wurden im konventionellen Verfahren höhere Temperaturen gemessen, auf dem Schlag „Park“ in der Dammkultur. Deshalb kann hierbei keinem der beiden Varianten ein Vorteil zugesprochen werden.
- Am fünften Boniturtermin des Feldaufgangs wurden im konventionellen Verfahren signifikant höhere Pflanzenzahlen bonitiert. Bei der letzten Bonitur standen in der Dammkultur im Schnitt jedoch nicht weniger Pflanzen, die Feldaufgangsraten waren demnach in beiden Varianten ähnlich.
- Bei der Anzahl Maispflanzen, die das höchstmögliche Blattstadium erreichten, verzeichnete das konventionelle Verfahren auf vier der sechs Versuchsflächen signifikant mehr Pflanzen.
- Die Pflanzenanalyse zeigte zum Beginn der Wachstumsperiode signifikant höhere Trockenmasseerträge im konventionellen Verfahren.
- Die Laboranalyse auf Mikro- und Makronährstoffe verdeutlicht, dass eine gezielte Unterfußdüngung (wie im konventionellen Verfahren) bei den meisten der untersuchten Nährstoffe auch höhere Nährstoffkonzentrationen in der Pflanze bewirkt (zu mindest in der Jugendentwicklung). Kalium, welches nicht im

Unterfußdünger vorhanden war, war in Pflanzen der Dammkultur signifikant höher konzentriert.

- Im konventionellen Verfahren war der Anteil bestockter Pflanzen signifikant höher als in der Dammkultur. Ob dies einen negativen Effekt auf den Ertrag hatte, kann nicht geklärt werden (keine repräsentativen Ertragsdaten).
- Die Ergebnisse der Ertragsdaten zeigen für beide Versuchsflächen deutliche höhere Frisch- und Trockenmasseerträge zugunsten der Dammkultur. Da diese nicht signifikant sind, kann ein positiver Ertragseffekt durch die Dammkultur nur vermutet werden.

Zusammenfassend kann man sagen, dass der Mais gerade in der Jugendentwicklung im konventionellen Verfahren Vorteile hatte. Zwar scheint der Großteil der Bonituren für das konventionelle Verfahren zu sprechen, jedoch zeigen die Ertragsergebnisse eine andere, wenn auch nicht absicherbare, Tendenz. Die gezielte tiefe Lockerung unter der Saatreihe, und das damit einhergehende größere durchwurzelbare Bodenvolumen, werden in der Dammkultur vor allem am Ende der Vegetationszeit einen positiven Effekt mit sich gebracht haben. Die Wurzelmasse der Maispflanzen im Damm verdeutlicht diese Annahme (s. Anhang 1).

Ertragsergebnisse, die optische Erscheinung der Maispflanzen im Damm zur Ernte sowie die flächige tiefe Lockerung durch den „Dammprofi“ bewegten den Betriebsleiter zum wiederholten Anbau von Mais in Dämmen auf ca. 1/3 der Maisanbaufläche. Die nächsten Jahre werden zeigen, ob sich die Dammkultur im Maisanbau als Anbauverfahren etablieren kann.

Literaturverzeichnis

Archer, D. W.; Pikul Jr., J. L.; Riedell, W. E. (2002): Economic risk, returns and input use under ridge and conventional tillage in the northern Corn Belt, USA, S. 1–8. Online verfügbar unter <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198702000168>, zuletzt geprüft am 06.02.2020.

BASF (2013): Ertragsbildung bei Mais in Abhängigkeit von Stress. Unter Mitarbeit von K. Geib. Online verfügbar unter <https://images.app.goo.gl/mzbn6tW3REsFZhK6>, zuletzt geprüft am 09.10.2019.

Benjamin, J. G.; Blaylock, A. D.; Brown, H. J.; Cruse, R. M. (1990): Ridge Tillage effects on simulated water and heat transport. *Soil & Tillage Research* 18, S. 167–180.

Chandler, R. F. (1981): Land an water resources and management. In: Plucknett.

DEKALB (1970): Bestockung in der Entwicklung des Mais erkennen. Online verfügbar unter <https://www.dekalb.de/documents/91765/328941/Bestockung+im+Mais+Entstehen+und+Auswirkungen.pdf>, zuletzt geprüft am 10.06.2020.

Destatis (2019): Statistisches Bundesamt. Feldfrüchte und Grünland. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFische/FeldfruechteGruenland/Tabellen/AckerlandHauptfruchtgruppenFruchtarten.html>, zuletzt geprüft am 27.05.2019.

DMK (2017): Deutsches Maiskomitee e.V. Etwa die Hälfte der Betriebe mit Ackerland baut Silomais an. Online verfügbar unter https://www.maiskomitee.de/web/upload/documents/news/0917_Etwa_die_Haelfte_der_Betriebe_mit_Ackerland_baut_Silomais_an.pdf, zuletzt geprüft am 20.06.2019.

DMK (2020a): Deutsches Maiskomitee e.V. Bestandesdichte. Online verfügbar unter <https://www.maiskomitee.de/Produktion/Anbau/Aussaat/Bestandesdichte>, zuletzt geprüft am 18.02.2020.

DMK (2020b): Deutsches Maiskomitee e.V. Bestimmung Reifezahl. Online verfügbar unter <https://www.maiskomitee.de/Produktion/Sorten/Bestimmung-Reifezahl>, zuletzt geprüft am 14.02.2020.

- DWD (2012): Deutscher Wetterdienst. Die nächtliche Abkühlung. Online verfügbar unter <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/mais/unterfussduengung-pdf.pdf>, zuletzt geprüft am 05.06.2020.
- DWD (2019): Deutscher Wetterdienst. Niederschlag: Jahresniederschläge von 1999-2019, Standort Teterow. Online verfügbar unter https://www.lms-lufa.de/export/sites/lufa/de/download/probenahme/LUFA_Probenahme_Pflanze_2018.pdf.
- FAOSTAT (2019): Food and Agriculture Organization of the United Nations. Online verfügbar unter <http://www.fao.org/faostat/en/#compare>, zuletzt geprüft am 27.05.2019.
- Gale, M. D.; Devos, K.M (1998): Comparative genetics in the grasses. Proc. Natl. Acad. Sci. USA; Vol. 95, pp. 1971–1974; Colloquium Paper, zuletzt geprüft am 07.06.2019.
- Hatfield, J. L.; Allmaras, R. R.; Rehm, G. W.; Lowery, B. (1998): Ridge tillage for corn and soybean production: environmental quality impacts. Soil & Tillage Research 48, zuletzt geprüft am 06.06.2019.
- He, J.; Li, H.; Kuhn, N. J.; Wang, Q.; Zhang, X. (2010): Effect of ridge tillage, no-tillage, and conventional tillage on soil temperature, water use, and crop performance in cold and semi-arid areas in Northeast China. Soil Res. (Soil Research) 48 (8), S. 737. DOI: 10.1071/SR09155.
- Herder (1999): Lexikon der Biologie. Bodentemperatur. Online verfügbar unter <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/bodentemperatur/9874>, zuletzt geprüft am 05.06.2020.
- Horsch (2019): Horsch Maschinen GmbH. Maestro CV. Online verfügbar unter https://www.horsch.com/fileadmin/user_upload/downloads/german/Maestro/Prospekt/CV/Maestro_CV_AGRI19_de.pdf, zuletzt geprüft am 13.02.2020.
- JD (2019): John Deere. HARVESTLAB 3000. Daten und intelligente Technologie für erfolgreiches wirtschaften. Online verfügbar unter <https://www.deere.de/assets/publications/index.html?id=8cd690bc#1>, zuletzt geprüft am 30.04.2020.

Krause, U.; Koch, H.-J.; Schlinker, G.; Sander, G. (2007): Einfluss des Dammanbaus von Zuckerrüben auf Pflanzenentwicklung und Bodenparameter im Vergleich zur Flachs Saat. Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e.V. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften; Band 19, S. 172–173.

Kristensen, E. F.; Sorensen, C. G. (2006): Ridge tillage of organic row crops. DOI: 10.13031/2013.21016.

KTBL (2015): Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. Bodenbearbeitung und Bestellung. Online verfügbar unter https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Artikel/Pflanzenbau/Bodenbearbeitung/Bodenbearbeitung_und_Bestellung_2015.pdf, zuletzt geprüft am 05.06.2019.

KWS (2019): Mais Anbauplaner. Online verfügbar unter https://mediamaster.kws.com/01_Produnkte/Mais/mais_anbauplaner_1.pdf, zuletzt geprüft am 09.10.2019.

Lal, R. (1990): Ridge-tillage. Soil & Tillage Research, 18. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, S. 107–111.

LUFA (2018): Landwirtschaftliche Untersuch- und Forschungsanstalt. Probenahme_Pflanze_2018. Online verfügbar unter https://www.lms-lufa.de/export/sites/lufa/de/download/probenahme/LUFA_Probenahme_Pflanze_2018.pdf, zuletzt geprüft am 30.04.2020.

Lütke Entrup, N.; Schwarz, F. J.; Heilmann, H. (Hg.) (2013): Handbuch Mais. Grundlagen, Anbau, Verwertung, Ökonomie. Bonn, Frankfurt am Main: Deutsches Maiskomitee e.V.(DMK); DLG-Verl.

LWK NRW (2015a): Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. Bestandesdichte und Reihenabstände bei Mais. Online verfügbar unter <https://www.dekalb.de/documents/91765/328941/Bestockung+im+Mais+Entstehen+und+Auswirkungen.pdf>, zuletzt geprüft am 18.02.2020.

LWK NRW (2015b): Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. Mineralische Unterfußdüngung bei Mais. Online verfügbar unter https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Germany/images/Mais/Mais_Agronomy_Bestockungstriebe.pdf, zuletzt geprüft am 13.02.2020.

LWK NS (2010): Landwirtschaftskammer Niedersachsen. Sortenratgeber Silomais und Energiemais - Mais/*Zea mays*. Hg. v. KTBL - Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (2006). Online verfügbar unter https://www.3-n.info/media/4_Downloads/pdf_WssnSrvs_Srvs_Anbau_Merkblatt_Mais.pdf, zuletzt geprüft am 19.06.2019.

Meier, U. (2018): Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen. BBCH Monografie: Open Agrar Repositorium. Online verfügbar unter <https://www.julius-kuehn.de/media/Veroeffentlichungen/bbch%20epaper%20de/page.pdf>, zuletzt geprüft am 09.10.2019.

Meyercordt, A.; Mücke, M. (2006): Ökologischer Maisanbau auf suboptimalen Standorten. Einfluss variierter Reihenweiten und Auswirkungen einer Dammkultur auf die Ertrags- und Qualitätsleistungen des Maises bei gleichzeitig variierter Beikrautregulierung. Landwirtschaftskammer Niedersachsen; Fachbereich Ökologischer Landbau.

Müller, E. (2010): Das Dammkultur-System nach Turiel. Untersuchungen auf der Hessischen Staatsdomäne Frankenhausen. Zugl.: Kassel, Univ., Diss., 2009. Kassel. Online verfügbar unter <http://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-922-1.volltext.frei.pdf>, zuletzt geprüft am 05.06.2019.

Pereira, H. C.; Hosegood, P. H.; Dagg, M. (1967): Effects of Tied Ridges, Terraces and Grass Leys on a Lateritic Soil in Kenya. *Expl Agric.* 3, S. 89–98.

PIONEER (2012): Bestockungstriebe Mais. Online verfügbar unter https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Germany/images/Mais/Mais_Agronomy_Bestockungstriebe.pdf, zuletzt geprüft am 10.06.2020.

proPlant expert.classic (2019): Gesellschaft für Agrar- und Umweltinformatik mbH, Münster.

Reinken, H. (2020): Beschreibung DK4 – Dammpfafi. Dammkultur leicht gemacht. Online verfügbar unter <http://dammpfafi.de/beschreibung-dk4/>, zuletzt geprüft am 14.02.2020.

Schwarz, D. (2019): Untersuchungen zur Entwicklung einer wassersparenden Methode für die streifenförmige Beregnung von Dammkulturen im Feldgemüsebau. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades einer Doktorin der Agrarwissenschaften (Dr. agr.). Online verfügbar unter <https://kobra.uni-kassel.de/bitstream/handle/123456789/11281/DissertationDanielaSchwarz.pdf?sequence=5&isAllowed=y>, zuletzt geprüft am 06.02.2020.

SKW Piesteritz (2020): Piadin. Der Stickstoffstabilisator für organische Düngemittel. Online verfügbar unter <https://www.piadin.de/#home>, zuletzt geprüft am 13.02.2020.

Strotmann, K. (2018): Damm statt Schlamm. Anbaustrategie. In: *Agrarheute Pflanze+Technik*, zuletzt geprüft am 14.02.2020.

TLL (2008): Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. Standpunkt zur Standraumverteilung im Maisanbau, zuletzt geprüft am 19.02.2020.

Turner, B. L.; Harrison, P. D. (1981): Prehistoric raised-field agriculture in the Maya lowlands. *Science*. 213, S. 399–405.

Zscheischler, J.; Estler, M.; Staudacher, W.; Groß, F.; Burgstaller, G.; Streyl, H.; Rechmann, T. (1990): Handbuch Mais. Umweltgerechter Anbau, wirtschaftliche Verwertung. 4., vollkommen überarbeitete Auflage. Frankfurt (Main), München, Münster-Hiltrup, Wien, Wabern-Bern: DLG-Verlag; BLV Verlagsgesellschaft; Landwirtschaftsverlag; Österreichischer Agrarverlag; BUGRA SUISSE.

Anhang

Anhang 1



Abb. 32: Wurzelballen einer Maispflanze aus konventionellem Verfahren (links) und einer Maispflanze aus Dammkultur (rechts) (eigene Darstellung)

Anhang 2



Abb. 33: Versuchsfläche „Park“ nach Starkniederschlag – konventionelle Parzelle (links) & Dammkultur (rechts) (eigene Darstellung)

Eidesstattliche Erklärung

Ich, Mathis Helms, erkläre hiermit an Eides Statt, dass ich die vorliegende Masterarbeit mit dem Thema „Mais im konventionellen Anbau sowie in Dämmen – Ein Verfahrensvergleich im Feldversuch“ selbstständig und ohne Benutzung anderer als angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher und ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Neubrandenburg, 21.10.2020

Ort, Datum

Unterschrift