



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Fachgebiet Landtechnik

Bachelor-Thesis

Zur Erlangung des Grades Bachelor of Science

„Agronomische Bewertung von Controlled Traffic Farming in der Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen anhand eines Praxisversuchs“

urn:nbn:de:gbv:519-thesis2023-0207-2

vorgelegt von

Johannes Christian Off

1. Betreuerin: Prof.in Dr.habil Sandra Rose
2. Betreuer: Bachelor Agronomie Roman Gambirasio

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	- 4 -
Abbildungsverzeichnis.....	- 5 -
Tabellenverzeichnis.....	- 6 -
1 Einleitung.....	- 7 -
1.1 Problemstellung	- 7 -
1.2 Zielsetzung.....	- 7 -
1.3 Vorgehensweise	- 8 -
2 Controlled Traffic Farming.....	- 9 -
2.1 Begriffsdefinitionen und Definition CTF	- 9 -
2.2 Entwicklung / Historie	- 10 -
2.3 Praxiseinführung.....	- 13 -
2.3.1 Anwendung von CTF in der Praxis.....	- 13 -
2.3.2 Aufbau CTF und erforderliche Komponenten.....	- 14 -
2.3.3 Anforderungen an den Praktiker	- 15 -
2.3.4 Investitionen und betriebliche Kosten.....	- 17 -
2.4 Umsetzung in den Kulturen	- 19 -
2.4.1 Druschfrüchte & Mais.....	- 19 -
2.4.2 Rüben / Kartoffeln / Sonderkulturen	- 22 -
2.4.3 Dauergrünland und Kunstwiese	- 23 -
2.5 Vor.- und Nachteile	- 24 -
3 Material und Methoden.....	- 27 -
3.1 Versuchsbetrieb.....	- 27 -
3.1.1 Standort	- 28 -
3.1.2 Boden.....	- 29 -
3.1.3 Kulturpflanze und Technik.....	- 29 -
3.1.4 Versuchsanlage	- 30 -
3.1.5 Ablauf und Durchführung	- 32 -
4 Darstellung der Ergebnisse	- 34 -
4.1 Frischmasseertrag.....	- 34 -
4.2 Wasserinfiltration	- 35 -
4.3 Penetrometer / Eindringwiderstand	- 36 -
4.4 Klassische Spatenprobe	- 36 -
5 Diskussion der Ergebnisse	- 40 -
6 Fazit und Ausblick	- 41 -
7 Zusammenfassung.....	- 43 -
Literaturverzeichnis	- 45 -

Eidesstaatliche Erklärung	- 48 -
Anhang	- 49 -
I. Frischmasseerhebung Kunstwiese „Herrenbünt“ 05.07.2022	- 49 -
II. Frischmasseerhebung Kunstwiese „Herrenbünt“ 12.08.2022	- 50 -
III. Fremdmessung Eindringwiderstand	- 51 -
IV. Erdziegel CTF	- 52 -
V. Erdziegel RTF	- 53 -
VI. Erdziegel CTF Fahrspur	- 54 -

Abkürzungsverzeichnis

CTF	Controlled Traffic Farming
RTF	Random Traffic Farming
SFF	Swiss Future Farm
RTK	Real time kinematic
GNSS	Global Navigation Satellite System
VRC	Variable Rate Control
DLG	Deutsche Landwirtschafts- Gesellschaft
MPa	Megapascal

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gantrie im Einsatz.....	11
Abbildung 2: NEXAT Trägerfahrzeug.....	12
Abbildung 3: Prinzip Spurlinienplanung.....	15
Abbildung 4: Mähdrescher mit verlängertem Abtankrohr im CTF.....	17
Abbildung 5: Direktsaatmaschine der Firma Novag.....	18
Abbildung 6: Befahrungsstrategie RTF / CTF.....	20
Abbildung 7: CTF Umsetzung in Europa.....	21
Abbildung 8: Standardtraktor mit Row- Crop Bereifung.....	21
Abbildung 9: CTF- Verfahren im Rübenanbau.....	22
Abbildung 10: CTF- Verfahren im Grünland.....	23
Abbildung 11: Versuchsplan Schlag „Herrenbünt Kunstwiese“.....	31

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vereinfachte Übersicht Ackerschlagkartei „Herrenbünt Kunstwiese“.....	30
Tabelle 2: Eigene Infiltrationsmessung.....	35

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Der stetige Anspruch der Gesellschaft und der Politik, aber auch der Landwirte selbst ist es, die Produktion landwirtschaftlicher Güter noch nachhaltiger zu gestalten, also die Effizienz- und Effektivitätssteigerung weiter voranzutreiben. Diese Schlagworte beinhalten unter anderem die Reduzierung von Kosten und Emissionen. Dazu kommt die Sicherung der Ernteprodukte gegenüber den vermehrt auftretenden Wetterextremen. Jahrelang bewährte Produktionssysteme werden hinterfragt und neu gedacht. Jährlich kommen neue Innovationen der Landtechnik in Form von Stahl und Eisen auf den Markt, aber auch sogenannte smarte Technologien unterziehen sich einer stetigen Weiterentwicklung. So gehören Lenksysteme auf landwirtschaftlichen Fahrzeugen mittlerweile zur Standardausstattung und sind aus den heutigen Landwirtschaftsbetrieben nicht mehr wegzudenken. RTK-Lenksysteme bilden den Grundstein für die meisten digitalen Anbaustrategien. GPS-gestützte Anwendungstechniken helfen den Landwirten, die erwähnten Anforderungen an den modernen Unternehmer zu erfüllen. Auf dieser Grundlage basiert ebenfalls das CTF-Regelspurverfahren, welches in vielen Regionen Australiens und Amerikas mittlerweile Standard ist. Inwiefern dieses Befahrungssystem für die mitteleuropäischen Standorte Möglichkeiten bieten kann, wie die Anfänge des Systems aussahen und welche Herausforderungen und Kosten bei der Installation eines CTF-Systems auftreten können, wird in der vorliegenden Ausarbeitung betrachtet.

1.2 Zielsetzung

Die Landwirtschaft befindet sich in einem akuten Wandel. Themen wie die Schonung der natürlichen Ressourcen und der Produktivitätssteigerung werden vielerorts debattiert. Unter diesem Ansatz wird eine auf RTK-Lenksystemen basierende, alternative Befahrungsstrategie von landwirtschaftlichen Nutzflächen bewertet.

In Zusammenarbeit mit der Swiss Future Farm wurde ein Versuch durchgeführt, um die kurzfristigen Auswirkungen des Systems auf Ertrag und Veränderung des Bodenzustandes zu untersuchen. Es werden ackerbauliche und verfahrenstechnische Elemente des CTF in der Praxis aufgezeigt. Der Fokus wird hierbei auf die praktische Umsetzung und den agronomischen Mehrwert für den Landwirt gelegt.

1.3 Vorgehensweise

Zum Einstieg in die Thematik werden im Literaturteil relevante Begriffe definiert, sowie das CTF- Verfahren beschrieben. Dies beinhaltet unter anderem einen Blick in die Geschichte, wo die Anfänge lagen und diese aussahen. Es wird die Praxiseinführung des Systems unter die Lupe genommen, sowie die dazugehörigen Komponenten, Herausforderungen und Kosten dargestellt. Dem folgt die praktische Untersuchung der Eignung für die gängigsten Ackerkulturen und Anbauverfahren.

Im Versuchsteil dieser Ausarbeitung wird der gesamte Versuch genauestens beschrieben und erklärt. Die Resultate werden dargestellt und ausführlich diskutiert.

2 Controlled Traffic Farming

2.1 Begriffsdefinitionen und Definition CTF

„Controlled Traffic Farming (CTF) ist eine Weiterentwicklung der Nutzung von GPS und Lenksystemen im Ackerbau“ (THOMSEN ET AL., 2018). Das in deutscher Sprache genannte Regelspurverfahren stellt vielerlei Anforderungen an den Unternehmer. GNSS-Lenksysteme stellen hierfür die Grundlage, um die einst angelegte Spur auch über Jahre hinweg wiederzufinden. Die Abkürzung GNSS steht für „Global Navigation Satellite System“, übersetzt globales Navigationssystem. Das ist der Oberbegriff für sämtliche Arten von Satellitennavigationssystemen. Eine Art hiervon ist das GPS. Es steht für Global Positioning System und ist das US-amerikanische GNSS. Es gibt zudem noch weitere Arten von GNSS. Das russische GNSS heißt GLONASS und ist vor allem in Osteuropa und Asien überwiegend vertreten. Im Zusammenspiel mit einem RTK-Empfänger bilden die genannten Systeme die Grundlage für die gesamte Precision Farming Thematik. RTK bedeutet Real Time Kinematic, was so viel bedeutet wie die hochgenaue Satellitenortung unter Nutzung mehrerer Frequenzen und Signalinformationen. RTK-Systeme bieten dem Nutzer eine Spurgenaugigkeit von +/- 2cm. In der Praxis funktioniert es so, dass der RTK-Empfänger auf dem Fahrzeug mit dem jeweiligen GNSS im All kommuniziert. Der RTK-Empfänger beinhaltet eine handelsübliche SIM Karte, um über das normale Mobilfunknetz dauerhaft seine Position bestimmen zu lassen. Die abgestufte Variante von RTK ist das DGPS. Dieses kommt dann zum Einsatz, wenn aufgrund von Störungen im Mobilfunk oder sonstigen äußeren Beeinflussungen das RTK keinen Empfang herstellen kann. Die Abweichung kann beim DGPS allerdings +/- 40cm betragen, was vor allem im CTF- Verfahren nicht zielführend ist.

Die Spurlinienplanung erfolgt heutzutage meist mit speziellen GIS (Geo-Informationssystem) Programmen, die dem Anwender die effizientesten Befahrungsrichtungen vorschlagen. Die maschinelle Ausstattung bzw. Anpassung an das Regelspurverfahren wiegt recht schwer. In einem konsequenten CTF-System werden nur Maschinen und Geräte mit einheitlicher Spur.- und Arbeitsbreite eingesetzt. Oftmals bedarf dies einer nachträglichen Umrüstung, wenn gewisse Maßen bei den Landtechnikherstellern in der gewünschten Sonderausstattung nicht serienmäßig vom Band laufen. Lenksysteme sind da noch die einfachste Art der Umrüstung. (P. O. NOACK, 2019)

Die Ziele des CTF sind vielschichtig und regional verschieden gewichtet. Im Grundsatz jedoch gleich, denn der fruchtbare Boden soll nachhaltig geschont werden. Durch die festgelegten Pfade finden Bodenverdichtungen nicht kreuz und quer und ohne System wie beim sogenannten Random Traffic Farming (RTF) statt, sondern bei jeder Überfahrt an der gleichen Stelle. Der Bereich zwischen den Fahrspuren bietet somit bessere Bedingungen für das Pflanzenwachstum und die dazugehörigen Prozesse wie die Wasserhaltefähigkeit oder der Durchlüftung. Aufgrund der langfristigen, konsequenten Einhaltung der vorgegeben Fahrspuren und der damit einhergehenden Reduzierung von Schadverdichtungen sollen die Erträge vor allem in Regionen mit relativ niedrigem Ertragspotenzial gesichert, und im besten Fall natürlich gesteigert werden.

2.2 Entwicklung / Historie

Der Boden war und ist, schon seit es die Zunft der Landwirte gibt, deren größtes Gut. Das große Thema der Bodenverdichtung, welches auch das übergeordnete Thema dieser Ausarbeitung darstellt, wurde allerdings jahrhundertlang nicht berücksichtigt und dementsprechend nicht erforscht. Erst Ende der 1960er Jahre wurde das Thema erstmals näher untersucht. In den Fokus gerückt wurde die Thematik durch den Wissenschaftler Kouwenhofen, der sich mit der Bodenverdichtung im Kartoffelanbau auseinandersetzte. Seiner Ansicht nach sollten die Landwirte bei der Bewirtschaftung der Kartoffelflächen schmalere Reifen verwenden, um mehr lockeren Boden, und somit weniger befahrene Ackerfläche zu hinterlassen. Etwa 15 Jahre später sind die ersten wissenschaftlichen Artikel zum Thema CTF veröffentlicht worden (T. CHAMEN, 2015). Der Denkansatz des CTF als ganzheitliches Anbausystem stammt aus Europa. Zu Beginn der Praxiseinführung wurde mit „Gantries“ im sogenannten „Wide Span“ Verfahren gearbeitet. Dies waren Geräteträger, die für sämtliche Ackerarbeiten mit verschiedenen Anbaugeräten ausgestattet werden konnten. Die Ernte war mit den in Abbildung 1 dargestellten „Gantries“ nur schwer zu realisieren, weswegen mit den Jahren handelsübliche Traktoren und Mähdrescher mit größeren Spurweiten modifiziert wurden. Richtig marktfähig wurde das CTF-Konzept jedoch erst mit der Einführung von satellitenbasierten Lenksystemen. Somit war es möglich, ein und dieselbe Fahrspur über Jahre hinweg wiederzufinden und befahren zu können. Auf den großen Flächenstrukturen in Australien erkannte man zuerst das Potenzial dieses Anbausystems, sodass Ende der 1990er



Abbildung 1: Gantrie im Einsatz (Quelle: Agroscope)

Jahre dort die ersten Pioniere das CTF in ihre Betriebe installierten. Laut dem Stand aus dem Jahr 2013 wurden bis dato drei Millionen Hektar in Australien mittels CTF bewirtschaftet (M. HOLPP ET AL., 2013).

Auf den Hohertragsstandorten in Mitteleuropa ist das CTF noch nicht sehr verbreitet, da die Vorteile dieses Systems nicht so zum Tragen kommen, wie es beispielsweise in Australien der Fall ist. Zwei Gründe dafür sind zum einen die größeren Arbeitsbreiten, sowie die rechtliche Komponente, wobei die Schlepper mit breiteren Spurweiten am Straßenverkehr teilnehmen dürfen. Im Verhältnis von Kosten zu Nutzen ist dies für die meisten europäischen Betriebe bisher nicht auf rationaler Ebene zu bewerkstelligen (T. CHAMEN, 2015).

Um die komplette Entwicklung des CTF abzurunden, ein Blick ins Jahr 2023. Hier erlebt das Trägerfahrzeug im sogenannten „Wide Span“ Verfahren seit der Agritechnica 2022 seine Renaissance. Die Firma NEXAT der Familie Kalverkamp aus Deutschland hat für die Neuentwicklung ihres Trägerfahrzeuges von der DLG die Goldmedaille erhalten, und wirbt mit ihrem Fahrzeug als „ganzheitlich gedachtes Pflanzenproduktionssystem“ (NEXAT, 2022). „Das Konzept leitet einen Paradigmenwechsel in der Landwirtschaft ein und ist bezüglich Ressourcenökonomie und -ökologie positiv zu bewerten“ (DLG, 2022). Mit diesen Worten beschließt die DLG ihr offizielles Statement zur Verleihung der Goldmedaille. Wie in Abbildung 2 zu erkennen, erinnert das neuentwickelte Trägerfahrzeug NEXAT aus dem Hause Kalverkamp stark an die bereits vorgestellten Gantries aus den 1970er Jahren.

Im Vergleich zu den Gantries aus der Vergangenheit stößt das neue Trägerfahrzeug schon von den Dimensionen in neue Sphären. Die Ursachen, die damals eine erfolgreiche Implikation des Systems in die landwirtschaftlichen Anbausysteme ver-



Abbildung 2: NEXAT Trägerfahrzeug (Quelle: NEXAT)

hinderten, sind mit der Neuentwicklung größtenteils behoben worden. Dabei ist wie bereits angesprochen die Nutzung von RTK-Systemen zu nennen, die zum damaligen Zeitpunkt noch nicht einmal in den Kinderschuhen stand. Auf Grund der zentimetergenauen Spurtreue werden die Pfade über Jahre an derselben Stelle befahren, was ohne GPS nahezu unmöglich gewesen ist. Laut dem Unternehmen NEXAT ist das Ergebnis des Einsatzes von CTF, dass 95% der Ackerfläche dauerhaft unbefahren bleibt (NEXAT, 2022).

Des Weiteren ist es ebenso möglich, Druschfrüchte mit einem speziellen Dreschwerk zu ernten. Auch das war ein Grund des „Scheiterns“ in der Vergangenheit. Aktuell über die Branche hinaus debattierte Themen in puncto Nachhaltigkeit, wie etwa ein elektrischer Antrieb und autonomer Betrieb sind ebenso möglich. Der CTF-Denkansatz ist also wieder in den Fokus der Landwirte gerückt worden. Dennoch ist klar, dass ein Geräteträger wie der der Firma NEXAT seinen Preis hat. Dabei sollte nicht vergessen werden, dass auch ohne ein spezielles Trägerfahrzeug ein CTF-Konzept durchgeführt werden kann, denn das klassische CTF beruht auf dem Einsatz herkömmlicher Landmaschinen, worauf im Folgenden detailliert eingegangen wird.

2.3 Praxiseinführung

2.3.1 Anwendung von CTF in der Praxis

Der allererste Schritt zur Umstellung auf das CTF-Konzept beginnt im Kopf. Es ist keine kurzfristige Entscheidung, denn die daraus resultierenden Konsequenzen kommen über Jahre zum Tragen. Das System wird als neuer ackerbaulicher Ansatz gesehen, und tangiert somit so gut wie alle Bereiche des landwirtschaftlichen Betriebes. Im übertragenen Sinn spricht man also von einem Mindset, dass der Landwirt als Arbeitgeber den Arbeitnehmern vorlebt, denn das Prinzip des kontrollierten Verkehrs auf dem Acker kann nur seine Vorteile ausspielen, wenn alle Beteiligten sich an die „Verkehrsregeln“ halten. „Die Landwirtschaft wird plötzlich einfacher“ (T. CHAMEN, 2015) berichten Landwirte die bereits erfolgreiches CTF betreiben. Das hängt damit zusammen, dass die Arbeitnehmer, in diesem Fall die Fahrer der Landmaschinen, sämtliche Befahrungen vorgegeben bekommen, sodass das Risiko einer Fehlbefahrung sinkt.

Arbeitswirtschaftlich wird der Landwirt mehr in der Planung gefordert als im üblichen RTF-Verfahren. Der neue Planungsaufwand der Befahrung hält Einzug und fordert nachhaltige Entscheidungen, denn die Leitspuren werden über Jahre hinweg befahren. Im Regelfall trifft man diese Entscheidung allerdings nur einmal, aber dafür umso sorgfältiger. Im Zuge der Planungsphase während der Umstellung auf CTF muss weiterhin bedacht werden, dass sich auf eine einheitliche Arbeitsbreite, sowie Reifenbreite und Spurweite festgelegt wird. Aufgrund der langfristigen Tragweite der Entscheidungen, ebenso im Hinblick auf die Kosten des Maschineninvestitionsplans, ist auch hier ein genaues Abwägen gefordert. Im RTF spielt diese Planung auf Jahre im Vergleich zum RTF keine ganz so große Rolle. Hinzu kommt, dass die Neuanschaffung der Geräte sowie die Modifikation bestehender Maschinen einen großen finanziellen Aufwand für den Landwirten darstellt (S. DAVIES ET AL., 2021). Wie viel oder ob überhaupt ein finanzieller Mehrwert durch das CTF entsteht, kann pauschal nicht gesagt werden und hängt vor allem von den lokalen Witterungs.- und Bodenbedingungen ab. Beim Thema Mehrwert spielt das VRC, also das Variable Rate Control zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung, eine ebenso große Rolle. Geht man davon aus, dass zur vollständigen erfolgreichen Implikation des CTF, vollständige RTK-Nutzung auf sämtlichen Geräten zur Verfügung steht, ist es bis zum Einsatz des VRC nicht mehr weit. Die Spurlinienplanung und teilflächenspezifische Bewirtschaftung liegen eng beieinander und werden in den meisten Fällen

von ein und demselben digitalen Tool bearbeitet. „Mit der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung anhand von Applikationskarten wird sichergestellt, dass die landwirtschaftlichen Nutzflächen exakt die Mengen an Düngemittel und Pflanzgut bekommen, um eine ertragsmaximierte Ernte zu gewährleisten. Zudem wird die Bodenstruktur geschont, da eine Über- oder Unterdüngung vermieden wird. Dadurch werden Dünge- und Pflanzenschutzmittel sowie Pflanzgut eingespart (C. BRÜSE, PROFI, 2020)“. Verbindet man die Konzepte des CTF und VRC, ist in der Theorie der Weg geebnet für eine Verbesserung der ökonomischen Ergebnisse. Unter dem Oberbegriff der „Precision Agriculture“, kurz PA, harmonisieren und ergänzen sich die beiden Bereiche also sehr gut. (M.N. THOMSEN ET AL., 2018)

2.3.2 Aufbau CTF und erforderliche Komponenten

Die Liste der Komponenten zur betrieblichen Modifikation bis hin zum CTF ist kurz, beschränkt sich jedoch auf den kostspieligen Punkt der Maschinen. Hinzu kommt der Einsatz von RTK, dessen Nutzung beantragt und finanziert werden muss. Zu diesem Bereich zählt auch die Planung der Leitspuren. Mithilfe von Luftbildern oder einem sogenannten Leitspurmanager wird den Landwirten die Entscheidung erleichtert. Auf der Basis von Feldgrenzen werden die Leitspuren, umgangssprachlich „A B Linien“ genannt, erstellt. Zudem ist es möglich, bestehende Spuren in andere Formate zu konvertieren, da fast jeder Traktorenhersteller ein anderes Dateiformat verwendet. Die gängigste Form ist das sogenannte ISO.XML Format (T. GÖGGERLE, 2020). In Abbildung 3 ist das Schema eines solchen Programms vereinfacht dargestellt, um zu verdeutlichen, auf welchem Fundament die Entscheidungen basieren. Diese technischen Entscheidungshilfen sind mit den menschlichen Erfahrungen und Erkenntnissen zu erweitern. Hierzu zählen Zufahrtstraßen und die Lage von Oberflächengewässern. Die Fahrgassenorientierung und Fahrspurlänge wird in der Software zwar nach Algorithmen festgelegt, ist aber auch mit den individuellen lokalen Gegebenheiten abzustimmen (S. DAVIES ET AL., 2021).

In der Planungsphase rund um die Neuanschaffung von Maschinen, muss zuallererst festgelegt werden, mit welcher Arbeitsbreite und Spurweite die Maschinen die nächsten Jahre ausgestattet sein sollen. Aufgrund der strikten Einhaltung der Befahrungsprinzipien ist eine spätere Veränderung von Arbeitsbreiten etc. nicht förderlich. Bekannt ist das sogenannte „Henne-Ei-Problem“. Betriebe entscheiden nach dem Kauf erster Maschinen, die in das CTF passen, bei weiteren Investitionen

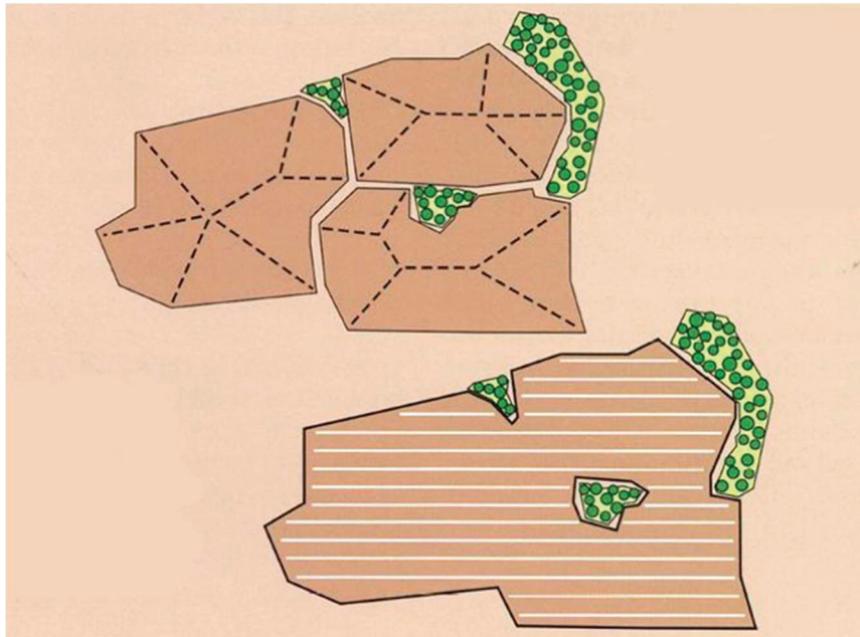


Abbildung 3: Prinzip Spurlinienplanung (Quelle: „Department of Primary Industries and Regional Development, Government of Western Australia“)

auf andere Arbeitsbreiten oder Spurweiten, sodass eine Einigung auf einen „Nenner“ in weite Ferne rückt (T. CHAMEN, 2015). Ein Maschineninvestitionsplan sollte im vornherein abgestimmt werden. Die wenigsten Betriebe sind finanziell in der Lage, innerhalb eines Jahres den gesamten Fuhrpark auf einen einheitlichen Nenner zu bringen (S. DAVIES ET AL., 2021).

2.3.3 Anforderungen an den Praktiker

Es gibt vielerlei Herausforderungen bei der Einführung von CTF. Die wohl Größte ist es, die finanziellen Aufwendungen vorzustrecken. Vor allem für vermeintlich kleinere Betriebe ist dies eine große Hürde. Hinzu kommt der Mangel an nachgewiesenen monetären Vorteilen unter den lokalen Gegebenheiten. Die Mehrerträge durch den Einsatz von CTF müssen die Kosten übersteigen. In dieser Hinsicht haben Großbetriebe Vorteile. (M.N. THOMSEN ET AL., 2018).

Einen weiteren bedeutenden Einfluss haben die rechtlichen Rahmenbedingungen, die es einzuhalten gilt. Technisch ist es beispielsweise möglich, die Spurweite eines Schleppers zu verbreitern, allerdings erlischt dadurch die Erlaubnis zur Befahrung öffentlicher Straßen und Wege. An einer Sondergenehmigung führt in dieser Hinsicht also kein Weg vorbei. In Australien ist das kein Problem. Der „nicht ackerbauliche Grund“, weshalb CTF dort schon mehr praktiziert wird als in Europa (H.J. HEEGE, 2013). Europäische Betriebe, dessen Flächen in der Regel verstreut und

nicht arrondiert liegen, haben ein logistisches Problem. Oft fällt dadurch die Wahl auf herkömmliche, schmalere Spurweiten. Das wiederum hat zur Folge, dass der Bereich zwischen den Spuren kleiner ist. Generell wird publiziert, alle Spurweiten auf die des Mähdreschers zu bringen. Dieser ist in der Regel die schwerste und größte Maschine auf dem Acker und genau aus diesem Grund zumeist ab Werk bereits mit einer breiten Spur ausgestattet und mit eingetragener Sondergenehmigung ausgeliefert (S. DAVIES ET AL., 2021). Im klassischen CTF wird eine Spurweite von 3m angestrebt, um auch in der Spur einen ausreichend breiten, bewirtschafteten Streifen zu haben (P.O. NOACK, 2018).

Zum Bereich Maschinen gibt es einen weiteren Punkt zu betrachten. Die mangelnde Kommunikation und Einigkeit der verschiedenen Landtechnikhersteller macht es für den Landwirt kompliziert, ab einer gewissen Arbeitsbreite in einheitliche Geräte zu investieren. Oftmals müssen die Maschinen in Eigenregie aufwendig modifiziert und angepasst werden (S. DAVIES ET AL., 2021). Auch der Einsatz von Lohnunternehmern oder Maschinengemeinschaften wird im CTF erschwert, da es auch hier gilt, die festgelegten Spuren und Breiten einzuhalten (J. EDER, 2016).

Auf kommunikativer Ebene hat der Landwirt eine weitere Herausforderung zu meistern: Die Schulung der Mitarbeiter, bzw. der Maschinisten, ist ein wichtiger Bestandteil der erfolgreichen Nutzung von CTF. Es muss ein Verständnis geschaffen werden, um sicherzustellen, dass in der Praxis stringent nur die Leitspuren befahren werden. Gerade in der Anfangsphase kann es passieren, dass sich die Maschinisten in dem System eingeengt fühlen, da ihnen der individuelle Spielraum auf bestimmte Weise genommen wurde. Letztendlich ist es für sie aber nur einfacher geworden. Ist dieses Verständnis vollständig bei den Arbeitnehmern vorhanden, sollte in der Theorie das generelle Fehlerpotenzial in Sachen Befahrung sinken (S. DAVIES ET AL., 2021).

2.3.4 Investitionen und betriebliche Kosten

Ein Landwirtschaftlicher Betrieb ist ein Wirtschaftsunternehmen. Unternehmen streben nach Gewinnmaximierung. In dieser Hinsicht hat die Einführung von CTF ihre Herausforderungen. Die Umstellungsphase ist mit hohen Kosten verbunden. Der Großteil dieser Kosten entsteht im Bereich der Maschinen. Werden neue Landmaschinen mit handelsüblichen Ausstattungen und Abmessungen bei den Herstellern geordert, stellt dies ohnehin eine große Investition für den Betrieb dar. So liegt der Listenpreis für einen Mittelklasseschlepper im Bereich der 180 PS zwischen 130.000 € und 180.000 € (T. GÖGGERLE, 2020). Die neuen Maschinen haben einen kalkulierbaren Wiederverkaufswert, mit dem der Landwirt planen kann. Im CTF kommt für den Landwirt erschwerend hinzu, dass in den meisten Fällen weiteres Kapital in die Hand genommen werden muss, um seine Maschinen in Eigenregie oder der Fachwerkstatt teuer modifizieren zu lassen. Das kann genauso eine bereits im Maschinenpark vorhandene Maschine sein. In den meisten Fällen betreffen die Modifikationen bei Fahrzeugen und Anhängern die Spurweite, sowie bei Anbaugeräten die Arbeitsbreite. Bei Mähdreschern sind es in der Regel die Abtankrohre, die verlängert werden müssen. Wie in Abbildung 4 zu sehen, ist die Herausforderung, dass das Abfuhrfahrzeug in derselben Spur des Mähdreschers fahren kann. Bei mittlerweile Schneidwerksbreiten von mehr als 12m, eine immense Weite, die es dort zu überbrücken gilt. Die Modifikationen stellen für den Landwirten einen im-



Abbildung 4: Mähdrescher mit verlängertem Abtankrohr im CTF (Quelle: Horsch)

mensen Kostenfaktor dar, vor allem im Hinblick auf den Wiederverkaufswert. So steht eine Verlängerung des Abtankrohrs bei einem modernen Mähdrescher mit etwa 12.000 € zu Buche. Dieses Geld, sieht der Landwirt beim Wiederverkauf in der

Regel nicht wieder (K. HORSCH, 2022). Dementsprechend stellt sich die Frage, die in dieser Ausarbeitung schon mehrfach erwähnt wurde: Übersteigt der finanzielle Nutzen die Kosten der Umrüstung? Diese Frage ist pauschal nicht zu beantworten und muss für jeden Betrieb individuell kalkuliert werden. Oftmals kommen die finanziellen Mehrwerte auch erst nach mehreren Jahren zum Tragen. Um die Berechnungen anzustellen, können zwischen 30.000 € und 50.000 € ausschließlich für die Umrüstung von Maschinen einkalkuliert werden (S. DAVIES ET AL., 2021).

Im selben Atemzug der immensen Kosten zur Umstellung auf CTF, wird immer auch der finanzielle Mehrwert des Systems genannt. Als übergeordnetes Ziel des Verfahrens steht der Ansatz zur Verbesserung der Effizienz durch Kostensenkung (M.N. THOMSEN ET AL., 2018). Betrachtet man den Punkt der Kostensenkung, steht dies meist in Zusammenhang mit dem aufstrebenden Direktsaatverfahren. „Bei der Direktsaat verzichtet der Landwirt auf eine Bodenbearbeitung und Lockerung des Bodens. Der Eingriff in den Boden erfolgt bei diesem Verfahren nur zur Ablage des Saatgutes. Weil der Boden nicht mehr gewendet wird, kann die Direktsaat als eine extensive Form der konservierenden Bodenbearbeitung betrachtet werden. Im Unterschied zur konservierenden Bodenbearbeitung (Bodenbearbeitung ohne Pflugeinsatz), wird der Boden jedoch bis auf das Öffnen der Säschlitze zur Aussaat nicht mehr bearbeitet (N. CULIUC, LKW NRW, 2021). In Abbildung 5 ist eine dieser speziellen Direktsaatmaschinen abgebildet. Die Direktsaat und das CTF sind eng miteinander verbunden. Fast alle CTF-Betriebe setzen auf Direktsaat. Lediglich Betriebe



Abbildung 5: Direktsaatmaschine der Firma Novag (Quelle: agrarheute)

mit sehr speziellen, herausfordernden Böden sind noch gezwungen, ihre Flächen im CTF- Verfahren auf herkömmliche Weise zu bewirtschaften. Das Konzept CTF einschließlich Direktsaat beschert dem Landwirt Kostensenkungen in Form von Arbeitszeit und Kraftstoff. Man spricht hier von einer verbesserten Kraftstoffnutzungseffizienz von bis zu 25% möglicher Einsparung. Hinzu kommt der positive Nebeneffekt von einem geringeren Rollwiderstand und der damit einhergehenden Verringerung von Schlupf an den Zugfahrzeugen. Dies ist zurückzuführen auf die minimale Bearbeitung des Bodens durch den Direktsaatansatz. Dadurch, dass die Böden nicht mehr tief bearbeitet werden, sind leistungsstarke Traktoren nicht mehr zwangsläufig von Nöten. Der Landwirt hat hierdurch die Möglichkeit, Traktoren mit geringerer Leistung einzusetzen. Dabei sind für ihn Einsparungen im Bereich der Anschaffung, der Unterhaltung und des Kraftstoffverbrauches möglich. (M.N. THOMSEN ET AL., 2018).

Bei kostensenkenden Maßnahmen ist das Ziel, den Ertrag stabil zu halten. Im mitteleuropäischen Anbauraum gelingt es den Landwirten im CTF-Verfahren sogar, eine fünf bis achtprozentige Ertragssteigerung zu erzielen (J. EDER, 2016). Am Beispiel des Winterweizens, bei 7 t/ha durchschnittlicher Erntemenge, einem Erzeugerpreis von 250 €/t und einer Ertragssteigerung von 5 %, ergibt es ein finanzielles Plus von 87,5 €/ha. In der Literatur wird jedoch davon ausgegangen, dass das CTF erst ab einer Fläche von 450ha rentabel sein kann (M.N. THOMSEN ET AL, 2018).

2.4 Umsetzung in den Kulturen

2.4.1 Druschfrüchte & Mais

Das CTF wird in Fachkreisen in der Regel zuerst mit dem Anbau von Druschfrüchten assoziiert. Das resultiert auf der vorwiegenden Verbreitung des Systems in den großen Getreideanbaugebieten in Westaustralien und Amerika. Diese Regionen sind aufgrund ihrer Witterungsbedingungen, Böden und Schlagstruktur prädestiniert für das CTF. Vor allem durch die Böden und großen Schläge ist es den Landwirten dort möglich, sehr breite Arbeitsgeräte einzusetzen. Die Betriebe setzen das CTF in Verbindung mit dem Direktsaatverfahren ein. Dementsprechend ist es also meist nur die Sämaschine, die in den Boden aktiv eingreift. So sind Arbeitsbreiten jenseits der 12m möglich. In Zusammenhang mit einer 3m Spur des Fahrzeugs, und Arbeitsbreiten von 12m, erzielt man dort einen Fahrspuranteil von lediglich 5 – 10 %. Grundsätzlich gilt, je breiter die Geräte, desto geringer der Fahrspuranteil.

Allerdings müssen auch die Arbeits.- und Spurbreiten angepasst werden. Wie in Abbildung 6 zu erkennen, werden sowohl die Sä.- als auch die Erntearbeiten mit 12m Arbeitsbreite durchgeführt. Pflegemaßnahmen wie der Pflanzenschutz und Düngung erfolgen mit der dreifachen Arbeitsbreite, in diesem Fall mit 36m. Die grauen Streifen in der Grafik stellen die Spur, bzw. den befahrenen Bereich dar. Als Vergleichsobjekt ist ebenfalls in Abbildung 6 die konventionelle Befahrung, das RTF zu sehen. Es gibt kaum Flächenanteile, die im Laufe des Jahres nicht befahren werden. Die Maschinen sind nicht aufeinander abgestimmt.

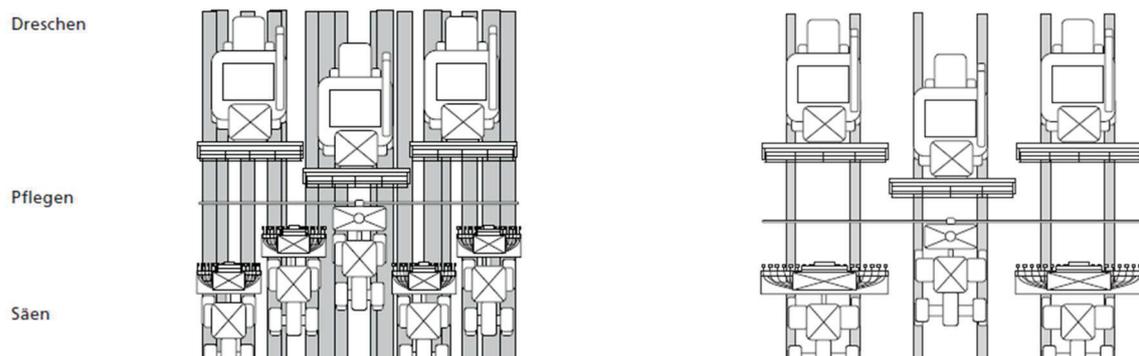


Abbildung 6: Grafik Befahrungsstrategie RTF / CTF (Quelle: Agroscope)

Wendet man diese Erkenntnisse auf die mitteleuropäischen Standorte an, muss im ersten Schritt die Arbeitsbreite verringert werden. Das ist zurückzuführen auf die Bodenbedingungen und die Landschaftsstruktur. In Abbildung 7 sind zwei verschiedene Systeme aufgeführt: Die Grafik links zeigt das CTF mit einer Arbeitsbreite von 4,5 m und rechts mit 6m. Bei 6m Arbeitsbreite, einer Reifenbreite der Schlepper von 650mm und des Dreschers von 800mm kommt man auf einen Fahrspuranteil von 40%. Erhöht man das System auf 9m Arbeitsbreite, ist ein Fahrspuranteil von 27% das Ergebnis. Im 4,5m Verfahren gibt es eine praktikable Lösung, mit der halben Arbeitsbreite dennoch denselben Fahrspuranteil von 27% zu erzeugen. Hier fahren alle Fahrzeuge mit 600mm breiten Reifen. Allerdings haben die Schlepper und Mähdrescher verschiedene Spurweiten. Dieses System basiert darauf, dass der Mähdrescher um eine halbe Arbeitsbreite versetzt in den Spuren der Schlepper fährt. In Zeiten von RTK-Systemen mit +/- 2cm Genauigkeit ist das mit sorgfältiger Planung gut umzusetzen. Es gibt dementsprechend viele verschiedene Möglichkeiten, den Fahrspuranteil zu verringern, solange alle drei maßgebenden Komponenten Arbeits.-, Spur.- und Reifenbreite in Einklang gebracht werden können (M. HOLPP ET AL., 2013).

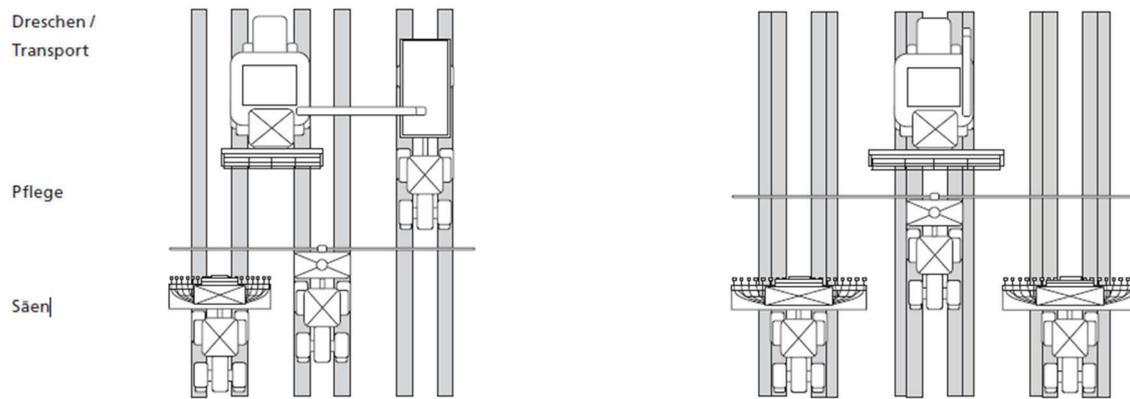


Abbildung 7: CTF-Umsetzung in Europa (Quelle: Agroscope)

Eine weitere Variante des CTF wird hauptsächlich in Amerika praktiziert. Im sogenannten Row-Crop Verfahren werden die Kulturen in breiteren Reihen gesät. Die Maschinen werden dann mit einer besonderen, schmalen Zwillingsbereifung ausgestattet, um den Wachstumsraum der Pflanze nicht zu befahren. Wie in Abbildung 8 zu erkennen, verläuft zwischen dem Hauptreifen und dem Zwillingsreifen eine Pflanzenreihe. Die Spurweite ist ebenfalls darauf ausgelegt, keinen Wachstums-



Abbildung 8: Standardtraktor mit Row-Crop Bereifung (Quelle: Fendt)

raum zu vergeuden. In der Regel beträgt die Spurweite 60 amerikanische Zoll, was umgerechnet genau 1,52m sind. Die klassischen Fahrgassen verschwinden durch dieses Verfahren gänzlich. In Europa ist dieses System in der Form rein rechtlich aufgrund der großen Gesamtbreite durch die Zwillingsbereifung nur schwer umsetzbar.

2.4.2 Rüben / Kartoffeln / Sonderkulturen

Im Bereich der Kartoffeln und Rüben ist das Verfahren aufgrund der geringeren Arbeitsbreite der Lege- und vor allem Erntemaschinen schwer konsequent umzusetzen. In Europa haben diese in der Regel eine Arbeitsbreite von drei Metern, was bei den Kartoffeln vier Reihen, sowie bei den Rüben sechs Reihen bedeutet. In Abbildung 9 ist dargestellt, wie ein System im Rübenanbau mit einer drei Meter breiten Erntemaschine aussehen kann. Der Fahrspuranteil hierbei liegt bei etwa 65 %. Im Kartoffelanbau ist es möglich, einen Fahrspuranteil zwischen 50 – 60 % zu erzielen, da auch bei der Ernte Maschinen mit schmaler Bereifung eingesetzt werden können. Weitet man dieses Verfahren auf eine Arbeitsbreite von 4,5m aus, kann der Fahrspuranteil auf die bereits im Bereich Druschfrüchte genannten 27 % reduziert werden. In der Praxis ist das jedoch kaum verbreitet.



Abbildung 9: CTF-Verfahren im Rübenanbau (Quelle: Agroscope)

Eine weitere Möglichkeit für die europäischen Landwirte bietet das sogenannte „Seasonal Farming“. Bei diesem Verfahren werden bestimmte Arbeitsschritte aus dem konsequenten CTF herausgenommen. In diesem Fall betrifft das die Erntemaschinen. Bei Kartoffeln und Rüben ist es möglich, Maschinen mit ganzflächiger Befahrung einzusetzen. Dies wird durch sehr breite Reifen oder Raupenlaufwerke sowie dem Fahren im Hundegang erreicht. Hierdurch wird das Gewicht der Maschine bestmöglich auf die drei Meter verteilt. Versuche ergaben, dass trotz der ganzflächigen Überrollung der Flächen, die Vorteile des CTF-Verfahrens erhalten blieben (M. HOLPP ET AL., 2013). Im Bereich der Rüben gibt es mittlerweile Erntevorsätze, sprich Rodeaggregate mit 6, 8, 9 oder 12 Reihen (S. SCHULZ, PROFI, 2022). Die Flächengröße und Abfuhrlogistik müssen darauf abgestimmt sein, was in den meisten Regionen der limitierende Faktor ist. Im Kartoffelanbau liegt das Maximum der Erntegeräte aktuell bei 8 Reihen. Diese Maschinen kommen allerdings nur in Regionen

zum Einsatz, wo die Rechtslage in Bezug auf Straßenverkehrsordnung dies zulässt. Solche Maschinen sind nicht klappbar, was in diesem Fall eine Gesamtbreite von 6m nach sich zieht. Primär werden diese Geräte in den großen Anbauregionen wie beispielsweise Nordamerika eingesetzt.

2.4.3 Dauergrünland und Kunstwiese

Im Bereich des Dauergrünland sind dem Praktiker weitaus mehr Freiheiten geboten, da die Arbeitsgänge der Bodenbearbeitung und Saat gänzlich entfallen. Es bleiben die leichtzügigen Arbeitsschritte. Mähen, Kehren, Schwaden sowie sämtliche Pflegemaßnahmen benötigen wenig Kraft und können dementsprechend mit großer Arbeitsbreite durchgeführt werden. Die Futterbergung mittels Ladewagen oder Feldhäcksler ist ebenfalls leicht umzusetzen. Auf der rechten Seite in Abbildung 10 wird das Verfahren bei einer Arbeitsbreite von 9m dargestellt. Beim Einsatz des Feldhäckslers fährt das Abfuhrgespann um eine Arbeitsbreite versetzt in der Fahrspur. In diesem System beträgt der Fahrspuranteil 13%. Auf den klassischen Futterbau-

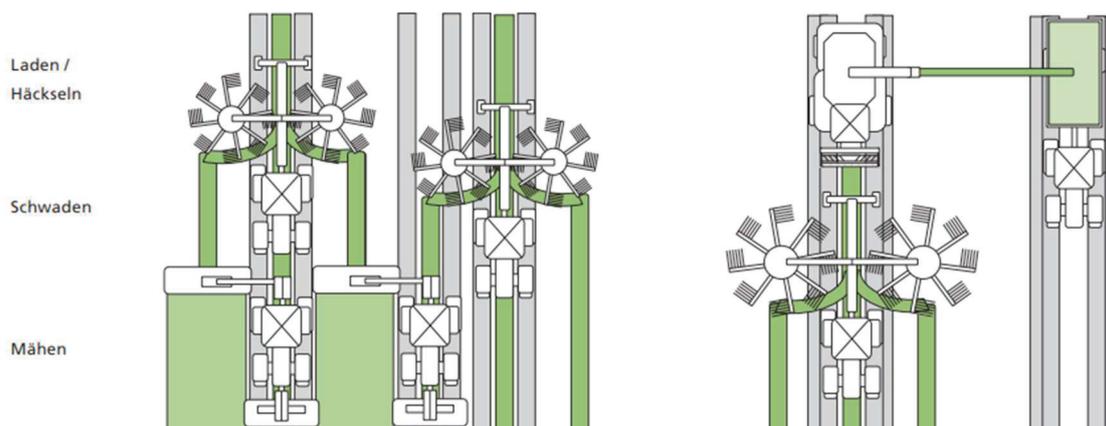


Abbildung 10: CTF- Verfahren im Grünland (Quelle: Agroscope)

betrieben ist das CTF noch nicht verbreitet. Mangelnde Informationen über die Vorteile, die Kosten für die einheitlichen Maschinenbreiten sowie die konsequente Befahrung derselben Spuren haben die potenziellen Anwender in diesem Bereich der Landwirtschaft bisher nicht vom CTF überzeugen können.

Bei der Bewirtschaftung von Kunstwiesen ist die Vorgehensweise erst ab der Ernte identisch mit dem Dauergrünland. Erschwerende Faktoren sind die Bodenbearbeitung und die Saat, die unter durchschnittlichen mitteleuropäischen Bedingungen nicht auf 9m Arbeitsbreite durchgeführt werden können. Gängige Breiten sind in

diesem System 4,5m mit 27 % und 6m mit 20% Fahrspuranteil (M. HOLPP ET AL., 2013).

2.5 Vor.- und Nachteile

Nachdem die technischen und ackerbaulichen Herausforderungen ausführlich beleuchtet wurden, werden im Folgenden die Vor.- und Nachteile des CTF noch einmal dargelegt.

Die Vorteile dieses Befahrungssystems korrelieren stark mit denen des ackerbaulichen Direktsaatverfahrens. In den bekannten CTF-Hochburgen, die aufgrund ihrer geografischen Eigenschaften prädestiniert für dieses System sind, wird ausschließlich Direktsaat angewendet. Häufig sind dies Regionen mit einer ohnehin geringeren Ertragserwartung aufgrund von weniger fruchtbaren Böden, als wir es auf den Hochertragszonen in Mitteleuropa gewohnt sind. Durch den generellen Minderertrag versuchen die Landwirte ihren Gewinn zu steigern, indem sie die Kosten senken. Die Direktsaat bietet sich hierfür an und bringt weitere Vorteile mit sich, die monetär kaum zu bewerten sind. Hierbei handelt es sich um Umweltaspekte. Durch die maximale Minimierung der Bodenbewegung ist es möglich, ein geringeres Risiko für Bodenerosion zu erzielen. Hinzu kommt die Reduzierung von Nährstoffauswaschungen und die daraus resultierende, theoretische Verringerung des Düngemittelbedarfs. Die Konsequenz der minimalen Bodenbewegung ist eine ganzjährig bedeckte Bodenoberfläche, die außerdem für Kleinstlebewesen einen Lebensraum darstellen kann. In Zeiten des Klimawandels auch positiv zu erwähnen, ist der Vorteil der Einsparung von Treibhausgasemissionen, ebenfalls zurückzuführen auf die minimale Bodenbewegung. Vor allem in Regionen mit sehr wenig Jahresniederschlag, ist die Möglichkeit zur Reduzierung des Wassererosionsrisikos sehr interessant. Durch die permanente Durchwurzelung der Boden verbessert sich die Infiltrationsfähigkeit der Boden, sodass der Boden mehr Wasser aufnehmen kann, und der Wasserabfluss minimiert wird. (S. DAVIES ET AL., 2021). Diese genannten Vorteile sind wie bereits erwähnt, nicht ausschließlich auf das Konto des CTF zu verbuchen. Dennoch trägt es im Zusammenspiel mit dem Direktsaatverfahren seinen Teil dazu bei. Aus Sicht des nach Gewinnmaximierung strebenden Unternehmers, sind diese Umweltaspekte mit keinem signifikanten finanziellen Mehrwert zu bewerten und schwer zu quantifizieren, wie es bei dem Großteil der theoretischen Vorteile bei diesem Konzept der Fall ist.

Finanziell interessant ist die Möglichkeit nach einer verbesserten Kraftstoffnutzungseffizienz. Durch die Nutzung langjährig befahrener Gassen und die damit einhergehende tiefe Verdichtung der Spuren, sinken der Rollwiderstand und der Schlupf. Somit kann der Landwirt auch unter nassen Bedingungen seine Felder befahren (K. HORSCH, 2021). Zu den weiteren Vorteilen der Kosteneinsparung und der Ertragssteigerung, auch im Zusammenspiel mit dem Direktsaatverfahren, wurde im Gliederungspunkt „Kosten/Finanzen“ ausführlich Stellung bezogen.

Für den modernen Landwirt spielen die Themen Digitalisierung und Autonomisierung eine immer größere Rolle. Dadurch, dass jeder Arbeitsschritt auf dem Acker im Vorwege digital geplant wird, steigt dadurch die Möglichkeit des autonomen Arbeitens. Hierfür ist es von Nöten, die Schläge bis in das kleinste Detail zu digitalisieren. Von der Feldgrenze, über Bäume, Telefonmasten oder Wasserschächte, es muss alles sorgfältig hinterlegt werden. Ist das alles einwandfrei geschehen, sind die modernen Maschinen heute schon in der Lage, die Arbeit komplett autonom zu verrichten. Einen Fahrer Bedarf es dennoch, jedoch kann dieser sich nun vermehrt um das bestmögliche Arbeitsergebnis kümmern. Im Zuge der Digitalisierung steigt ebenso das Potenzial für die Nachvollziehbarkeit der Arbeitsschritte auf den Feldern. Es kann genaustens eingesehen werden, wer, wann, wo mit welchem Arbeitsgerät unterwegs war (K. HORSCH, 2021). Diese Technologien sind heutzutage bei den meisten Lohnunternehmen und Großbetrieben Standard.

Es gibt allerdings auch die teilweise bereits erwähnten Nachteile des Systems. Ein großer Punkt ist hierbei der finanzielle Aspekt. Der Landwirt ist darauf angewiesen, seinen Maschinenpark zu erneuern oder zu modifizieren. Oftmals müssen die Umbauten an den Maschinen sogar in Eigenregie durchgeführt werden. Das wiederum macht die Geräte zu Unikaten, was sich negativ auf den Wiederverkaufswert auswirkt. Der Drang zu den großen Arbeitsbreiten der Maschinen, um möglichst wenig Boden zu befahren, ist genauso ein Streitpunkt. Große Arbeitsbreiten bringen immer ein zusätzliches punktuelles Gewicht mit auf den Acker, des Weiteren werden stärkere Schlepper benötigt (K. HORSCH, 2021, S. DAVIES ET AL, 2021). Das Argument der steigenden Arbeitsbreiten lässt sich allerdings ausschließlich auf den mitteleuropäischen Raum anwenden. In der Regel steht CTF in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Direktsaatverfahren. Heißt also das die Sämaschine das einzige Arbeitsgerät ist, was in den Boden eingreift, und dabei auch noch verhältnismäßig leichtzügig ist. In Europa jedoch sind mit dem Direktsaatverfahren noch zu Hohe Ertragseinbußen verbunden, weshalb die Landwirte nicht auf die klassische

Stoppelbearbeitung und anschließender Grundbodenbearbeitung verzichten wollen. In diesem Zuge sind sie notgedrungen, einen breiten Grubber einzusetzen, der in der Regel einen leistungsstarken Großtraktor als Voraussetzung mit sich bringt. Ein Einsatz von Dienstleistern, bzw. Lohnunternehmen, ist aufgrund der stringenten Einhaltung an die Spur- und Arbeitsbreiten ebenfalls nur schwer realisierbar (J. EDER, 2016).

Es kann Jahre dauern, bis sich Vorteile des CTF durchsetzen. Bis dahin muss ein immenser technischer und organisatorischer Aufwand betrieben werden, um eben diese Vorteile herauszufordern (M. HOLPP ET AL., 2013). In den Hochburgen des CTF, z.B. in Westaustralien und Nordamerika, werden Vorteile hinsichtlich der Erträge und monetären Verbesserungen deutlich. Die Ertragserwartung ist dort allerdings eine andere als auf den Hohertragsstandorten in Europa. Das bedeutet, dass man in der Literatur vergebens nach Ausarbeitungen sucht, die einen verbesserten Ertrag belegen (T. ANKEN, 2020). Die bereits genannten Vorteile hinsichtlich der Umweltaspekte sind unbestritten, allerdings argumentatorisch den meisten Landwirten schwer zu vermitteln. Denn am Ende entscheidet das gute Geld über Erfolg oder Misserfolg.

3 Material und Methoden

3.1 Versuchsbetrieb

Die Versuche zu dieser Arbeit wurden in der Schweiz durchgeführt. Auf der sogenannten Swiss Future Farm ist man spezialisiert auf das Versuchs- und Forschungswesen in dem Bereich der modernen Landwirtschaft. Der Betrieb liegt im Kanton Thurgau, genauer gesagt in Tänikon, etwa eine Autostunde von der deutschen Grenze entfernt. Unter dem Leitbild „aus gebündeltem Wissen entsteht Innovation“ wird dieser Forschungsbetrieb geführt. Auf 81 ha landwirtschaftlicher, größtenteils arrondierter Fläche wird hier gewirtschaftet. Davon sind 20 ha Naturwiese, sowie 6 ha Biodiversitätsflächen. 55 ha werden als Ackerkulturen geführt, wo sehr vielfältige Kulturen angebaut werden. Dazu zählen Winterweizen, Winter- und Sommergerste, Winterraps, Hafer, Silomais, Zuckerrüben, Eiweisserbsen, Roggen, Dinkel und Emmer. Zudem wird auf Kleinparzellen der Anbau von diversen Gemüsekulturen wie z.B. Kohl und Bundzwiebeln erprobt. Ebenfalls in Tänikon ansässig ist das Kompetenzzentrum des Bundes für landwirtschaftliche Forschung, genannt Agroscope. Aufgrund der geografischen Nähe ist es üblich, dass auch einige Versuche von Agroscope auf den Flächen der SFF durchgeführt werden. Es dreht sich allerdings nicht alles um den Ackerbau. Zu dem Betrieb gehören außerdem 65 Milchkühe, 55 Mutterschweine und 50 Schafe und Ziegen. Im Rahmen dieser Ausarbeitung wird sich jedoch auf den Ackerbau beschränkt.

Der Grundstein für die SFF wurde im Jahr 2017 gelegt. Seit jeher werden die Geschicke im Dreigestirn geleitet. Zu den drei Trägerorganisationen gehören folgende Unternehmen:

Das BBZ Arenenberg ist einer der drei Organisationen und unter anderem als das Kompetenzzentrum für die Landwirtschaft im Turgauer Bereich bekannt. Zum Arenenberg gehört der Großteil der auf dem Betrieb beschäftigten Mitarbeiter für Stall und Außenwirtschaft. Sämtliche Forschungsprojekte werden von Seiten der Wissenschaft vom Arenenberg begleitet und bewertet.

Ein weiterer Partner ist der amerikanische AGCO Konzern, besser bekannt durch seine Tochterfirmen Fendt, Massey Ferguson und Valtra. AGCO beschäftigt dauerhaft einen Mitarbeiter auf der SFF, der sich um Themen wie Agronomie und Prototypenverwaltung kümmert. So wurde im Frühjahr 2022 beispielsweise in Zusammenarbeit mit der Firma Precision Planting eine in seinen Funktionen bisher einzigartige Einzelkornsämaschine eingesetzt. Diese intelligente Sämaschine misst

während des Sävorgangs permanent die Bodenfeuchte.- und Temperatur, sowie die organische Substanz. Auf Basis der ermittelten Daten wird der Schardruck und damit die Ablagetiefe angepasst. Ein weiterer Versuchsschwerpunkt im Jahr 2022 war die Erprobung von autonomen Ballenpressen, in Zusammenarbeit mit den Technikern aus dem Bereich Entwicklung und Versuch von Fendt aus Marktoberdorf.

Als dritter Partner ist GVS Agrar in Tänikon vertreten. Der „Genossenschaftsverband Schaffhausen“ ist der marktführende Importeur von Landtechnik in der Schweiz, insbesondere der schon genannten drei AGCO Schleppermarken. GVS Agrar beschäftigt ebenfalls einen Mitarbeiter dauerhaft auf dem Versuchsbetrieb. Als Händler von neuer Landtechnik ist GVS dafür zuständig, die technische Ausstattung zu gewährleisten und diese zu betreuen. Dazu zählen mehr und mehr neue Technologien und die dazugehörigen Maschinen. So wurde 2022 ein autonomes Trägerfahrzeug für Gerätschaften mit einer Arbeitsbreite von drei Metern erstmals auf schweizer Ackerflächen eingesetzt.

Durch die vielen verschiedenen Inputs der drei Partner entsteht ein bunter Strauß an Erfahrungswerten und Lösungen für die moderne Landwirtschaft. „Die Swiss Future Farm macht moderne Precision- Farming- Technologien für die nachhaltige Landwirtschaft sichtbar, greifbar und verständlich.“ (GVS Agrar)

3.1.1 Standort

Die Versuche wurden auf der Parzelle mit dem betriebsinternen Namen „Herrenbünt Kunstwiese“ durchgeführt. Der Schlag umfasst 1,70 ha, was in der sehr kleinstrukturierten Thurgauer Region durchaus keine Seltenheit ist. Bei 20 ackerbaulich genutzten Flächen beträgt die durchschnittliche Schlaggröße der SFF etwa 3,3 ha, wobei der größte Schlag eine Fläche von 5,7 ha aufweist. Der Schlag befindet sich auf einer Höhe von ca. 540 über normal Null. Für Schweizer Verhältnisse ist der Schlag relativ eben, mit nur einer kleinen Senke im mittleren Bereich in Längsrichtung. Dieser Standort ist mit 1158 l/m² Jahresniederschlag relativ feucht. Der Großteil der Niederschläge fällt im Winter, sehr oft auch in Form von Schnee.

3.1.2 Boden

Die vorherrschende Bodenart in der Thurgauer Region ist grundsätzlich Lehm Boden. Auf dem Versuchsacker „Herrenbünt Kunstwiese“ ist es der sogenannte sandige Lehm. Gekennzeichnet ist der Boden durch seinen immensen Anteil an kleinen Steinen, was die Bearbeitung oftmals immens erschwert. Aus diesem Grunde leider nicht möglich, ist die Bodenbeprobung mittels Bohrstock. Die im weiteren Verlauf der Arbeit vorgestellte Spatenprobe war aufgrund der Steine ebenso mit großer Mühe verbunden. Der Humusgehalt auf dieser Parzelle liegt laut Standard Bodenanalyse bei 4,7%, was mit dem Zusatz „schwach humos“ zu beschreiben ist. Zudem hat der Boden einen pH Wert von 7,6, also schwach alkalisch.

3.1.3 Kulturpflanze und Technik

Als Versuchskultur wurde die Kunstwiese gewählt. Diese wird mehrmals im Jahr befahren, bzw. sehr viel öfter befahren, als typische Ackerkulturen wie Weizen oder Raps. Außerdem wird die Kunstwiese mehrmals im Jahr gemäht, sodass man daraufhin die Erträge messen und miteinander vergleichen kann. Ein weiterer Grund, weshalb die Kunstwiese gewählt worden ist, war die Arbeitsbreite der Maschinen. Aufgrund der sehr kleinen Flächenstruktur und der dementsprechend schmalen Arbeitsbreite der Geräte, wären klassische Ackerkulturen für den Versuch ungeeignet gewesen. Die Kunstwiese wurde im Herbst 2021 angesät, nachdem als Vorfrucht eine Wintergerste auf der Versuchsfläche stand. In der Regel wird die Kunstwiese drei Jahre lang beerntet, ehe sie umgebrochen wird und wieder normale Ackerkulturen kultiviert werden. Wie im Literaturteil erwähnt, kann das CTF erst ab einer Arbeitsbreite von mindestens sechs Metern seine Vorteile ausspielen. An sich gilt der Grundsatz, je breiter desto besser. Da die leichtzügige Grünlandtechnik am ehesten diesem Kriterium entspricht, und dort die Mindestarbeitsbreite von sechs Metern eingehalten werden kann, wurde also die Kunstwiese gewählt. Wie in der unten abgebildeten Tabelle zu erkennen, bedeutet das für den Versuch, das mit jeweils sechs Metern Arbeitsbreite gewalzt, gemäht und geschwadet wurde. Alle weiteren Arbeitsschritte wurden mit 12 Metern Arbeitsbreite durchgeführt. Ausgenommen aus dieser Betrachtung ist die Aussaat, die aufgrund von fehlender technischer Ausstattung nicht mit der passenden Breite durchgeführt werden konnte. In Tabelle 1 sind die einzelnen Arbeitsschritte des Versuchsfeldes aufgelistet.

Datum	Vorgang	Arbeitsbreite
20.08.2021	Saatbettbereitung	3m
21.08.2021	Aussaat	3m
26.08.2021	Anwalzen	6m
01.03.2022	Düngung organisch	12m
02.03.2022	Düngung mineralisch	12m
09.03.2022	Striegeln	12m
11.03.2022	Walzen	6m
30.03.2022	Düngung mineralisch	12m
28.04.2022	Mähen/Kehren/Schwaden	6m/12m/6m
29.04.2022	Pressen	12m
04.05.2022	Düngung organisch	12m
29.05.2022	Mähen/Kehren/Schwaden	6m/12m/6m
31.05.2022	Pressen	12m
31.05.2022	Düngung organisch	12m
05.07.2022	Mähen/Kehren/Schwaden	6m/12m/6m
06.07.2022	Pressen	12m
07.07.2022	Düngung organisch	12m

Tabelle 1: Vereinfachte Übersicht Ackerschlagkartei „Herrenbünt Kunstwiese“

3.1.4 Versuchsanlage

Nachdem in der Planung für den Versuch eine möglichst homogene Fläche definiert wurde, ist der Grundstein für den Versuch am 21.08.2022 mit der Aussaat der Kunstwiese gelegt worden. Die 1,70 ha große Fläche wurde wie in Abbildung 11 zu erkennen, in Längsrichtung geteilt, sodass man exakt zwei 0,85 ha große Parzellen für beide Verfahren der Befahrung zur Verfügung hatte.

Für diesen Versuch wurden drei quantitative, sowie ein qualitatives Bewertungsverfahren ausgewählt. In jedem Fall musste eine Reproduktion der Versuchsergebnisse gewährleistet sein, sodass alle Versuche mindestens zwei Durchgänge durchlaufen mussten. In Abbildung 22 ist die Zuordnung der Versuche auf dem Versuchschlag grafisch dargestellt.

Zu den quantitativen Verfahren zählt die Messung mittels Penetrometer. Dieses Gerät ist in der Lage, eine Bodendichtebestimmung durchzuführen und zudem den mechanischen Widerstand im Boden, bzw. den Eindringwiderstand zu messen. Das ist ein Anhaltspunkt dafür, wie dicht der Boden gelagert ist, was wiederum Aufschlüsse darauf gibt, wie leicht es die Pflanzen haben, den Boden zu durchwurzeln oder wie tragfähig der Boden ist. Weiter ist es ein Anzeichen darauf, wie der Boden

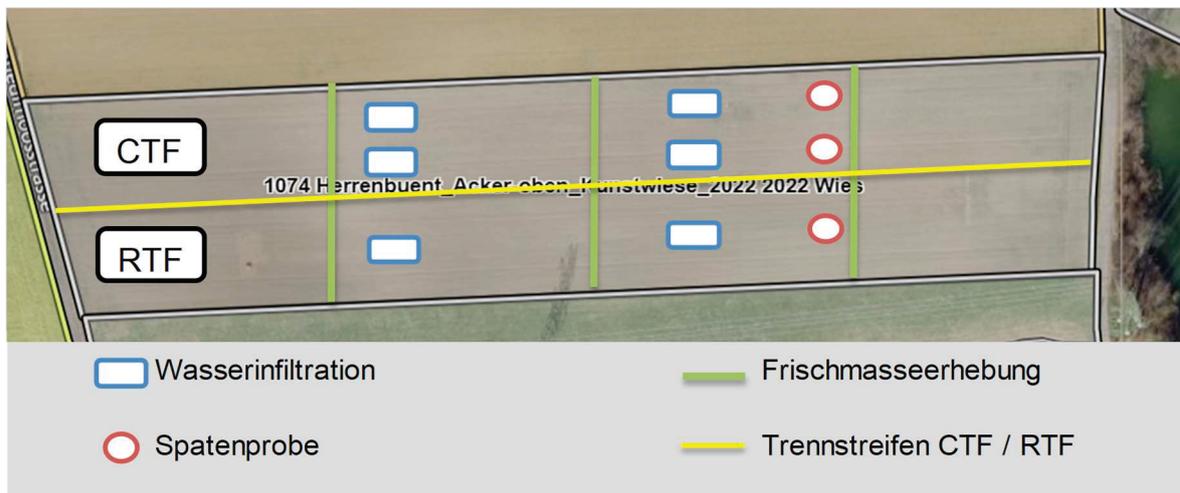


Abbildung 11: Versuchsplan Schlag „Herrenbünt Kunstwiese“

mit Niederschlägen umgeht. Ob ein Risiko gegenüber Staunässe besteht, oder ob die Feuchtigkeit optimal aufgesogen werden kann. Im Verlauf der Versuche wurde festgestellt, dass auf den Versuchsstandorten eine Messung mittels Penetrometer nicht repräsentativ gestaltet werden kann. Aufgrund der sehr hohen Anzahl an Steinen auf dem Acker, konnte kein Einstich ohne nennenswerten Kontakt mit Steinen durchgeführt werden. In diesem Fall werden Versuchswerte eines vergleichbaren Versuches zur Betrachtung herangezogen. Eine Ausklammerung dieses Parameters stand nicht zur Debatte, da dieser laut Literatur einen der wesentlichen Merkmale des CTF repräsentiert.

Als weitere Bewertung, aufbauend auf den Eindringwiderstand, wurde die Messung zur Wasserinfiltration als Anhaltspunkt herangezogen. Als das Eindringen von Niederschlägen in den Boden wird es auch bezeichnet. Die Fähigkeit, Wasser im Boden zu halten, steht nicht in diesem Zusammenhang. In der Regel wird dies durch die Bodenart beeinflusst. In diesem Infiltrationsversuch wird die Wasseraufnahmekapazität der verschiedenen Varianten untersucht. Die Versuche wurden kurz vor der anstehenden Mahd vollzogen. Die Bodenbedingungen waren sehr trocken, weshalb eine generell gute Wasseraufnahme erwartet worden ist. Zum Einsatz gekommen ist ein Metallzylinder mit einem Volumen von 17,67l. Der Zylinder hat einen Durchmesser von 30cm und einer Höhe von 30cm. Bei der Messung muss sich der Zylinder 5cm im Boden befinden, weshalb sich die Messung des Volumens auf eine Höhe von 25cm bezieht. Nach dem Aufstellen des Metallzylinders wurden 17,67 Liter Wasser hineingekippt. Der Zylinder war dann komplett mit Wasser gefüllt. In der tabellarischen Darstellung stellt das Volumen von 17,67l zur vereinfachten Darstellung die 100% dar. Eine sich an der Innenseite des Zylinders befindende

Skalierung wurde nach exakt 60 Sekunden abgelesen, um die infiltrierte Menge in Liter zu bestimmen. Pro Messpunkt wurden die einzelnen Messungen zu beiden Versuchszeitpunkten dreimal wiederholt und in einen Mittelwert zusammengefasst. Insgesamt wurde jeder Messpunkt also sechsmal beprobt.

Des Weiteren wurde unmittelbar vor der Mahd eine Frischmasseerhebung durchgeführt. Es ist im Endeffekt der Parameter, der den Großteil der Landwirte am meisten tangiert, da es unmittelbar mit dem finanziellen Erfolg des Unternehmens zusammenhängen kann. Die zuvor beschriebenen Parameter sind so gesehen Faktoren, die die Frischmasse, also den Ertrag, enorm beeinflussen können. Die direkten Auswirkungen des Einsatzes von CTF werden mit diesem Versuch dargestellt. Dazu unterlag die Messung des Frischmasseertrages einer zweifachen Wiederholung. Wie in Anhang I und II zu sehen, wurde der Versuchsschlag in drei Versuchsreihen unterteilt. Bei einer Gesamtbreite von 60m und einer Teilung des Schlages zwischen dem CTF und RTF-Verfahren, standen somit jeweils zwei 30m breite Streifen zur Verfügung. Die einzelnen Versuchsreihen wurden mittels 1,8m x 2m Kleinparzellen ausgewertet, sodass pro Verfahren und Versuchsreihe 15 Messungen vorlagen. Der Aufwuchs wurde mittels Parzellenmäher geerntet und unmittelbar nach der Mahd verwogen, um eventuelle Trocknungsverluste auszuschließen. In der tabellarischen Darstellung der Versuchsergebnisse sind die CTF-Fahrspuren farblich hinterlegt. Die Messergebnisse sind dargestellt in Kilogramm Frischmasse.

Als qualitatives Bewertungsverfahren wurde die klassische Spatenprobe ausgewählt. Die Spatenprobe ist die wohl simpelste und effektivste Möglichkeit, den Boden mit geringem Zeitaufwand einer Kontrolle zu unterziehen. Faktoren wie die Durchwurzelung, Feuchtigkeit oder Schichtung kommen hier zum Tragen. Für diese Art der Beurteilung gibt es sämtliche Bewertungsschemata, jedoch spielt immer eine subjektive Note bei der Beurteilung mit. Aus diesem Grund wird der Spatenprobe eine nicht so hohe Gewichtung zugeordnet.

3.1.5 Ablauf und Durchführung

Bei der Untersuchung der Versuchsfläche auf die bereits definierten Parameter bedurfte es einer sorgfältigen Planung und Dokumentation. Im Vorhinein wurden die Messstellen genauestens geplant, um möglichst repräsentative Ergebnisse zu generieren. Außerdem bedurfte es der Organisation der technischen Hilfsmittel, in diesem Fall der Messinstrumente. Durch die direkte Angliederung an den

Versuchsbetrieb SFF und die Bundesforschungsanstalt Agroscope, sind die Messinstrumente vor Ort direkt verfügbar gewesen. Die technische und fachliche Unterstützung war durch die bereits erwähnte vor Ort Kompetenz ebenso von großem Vorteil.

Die Messung der Vergleichsparameter nimmt zeitlich einen verhältnismäßig geringen zeitlichen Aufwand dar, vergleicht man es mit der gesamten Planungs- und Vorbereitungszeit. Die Versuchsparzelle über die gesamte Vegetationsperiode konsequent im CTF-Verfahren zu befahren, verlangt auch von den Maschinenführern die ehrgeizige und konsequente Einhaltung des Spursystems. Das korrekte Befahren der festgelegten Spuren ist im Nachhinein einsehbar, denn jeder Schlepper ist mit einem GPS-Tracker ausgestattet, sodass jede Bewegung des Fahrzeugs nachvollzogen werden kann.

4 Darstellung der Ergebnisse

4.1 Frischmasseertrag

Die Messung erfolgte in beiden Fällen unmittelbar vor der Mahd, weswegen sich die gesamte Frischmasse in beiden Auswertungen ähnelt. In welcher Intensität dies eingetreten ist, war augenscheinlich nicht zu erwarten. Generell liegen alle Messwerte dicht beieinander. Dadurch lässt sich bereits schließen, dass in diesem Kontext über keine signifikanten Unterschiede berichtet wird. Als niedrigster Wert wurde im ersten Versuchszeitraum 9,6 kg/Parzelle gemessen. Allerdings sind hier die Randeffekte ausschlaggebend, weshalb der Messung keine hohe Gewichtung zugeordnet werden darf. Der höchste Wert von 15,1 kg/Parzelle wurde im zweiten Versuchszeitraum in der CTF Variante gleich zweimal gemessen. Auffallend ist, dass alle erhobenen Messwerte sehr identisch sind. Der Varianzwert fällt dementsprechend niedrig aus. Die Zahlenwerte spiegeln den augenscheinlichen, subjektiven Eindrücken während des Versuchszeitraums wider. Wahrzunehmen sind die Schlepperspuren in der CTF-Variante. Bei der Bewertung des Versuches fällt auf, dass in jedem Fall das CTF-Verfahren bessere Werte hervorgebracht hat. Der Mittelwert der prozentualen Verbesserung von 6,2% ist keine signifikante Steigerung, zeigt jedoch die positive Tendenz des CTF. Zudem ist in keinem Fall die RTF-Variante besser beprobt worden als die des CTF. Obwohl 6 der 15 Kleinparzellen in der CTF-Variante mehrfacher Befahrung ausgesetzt waren und geringere Frischmasseanteile zum Gesamtergebnis beitragen konnten, waren die nicht befahrenen Anteile in der Lage, den Minderertrag nicht nur zu kompensieren, sondern allgemein zu verbessern.

Zusammenfassend zu diesem Versuch lässt sich sagen, dass das CTF-Verfahren in keiner Weise einen negativen Einfluss auf die Frischmasse hatte. Ganz im Gegenteil, die Frischmasse, im übertragenen Sinne der Ertrag, konnte im Vergleich zum RTF leicht gesteigert werden.

4.2 Wasserinfiltration

Bei den Ergebnissen konnten zwischen den beiden Zeiträumen kaum signifikante Unterschiede festgestellt werden. Dennoch ergaben die Versuche eine Tendenz. Wie in Tabelle 2 zu erkennen, konnte die CTF-Fahrspur in beiden Zeiträumen nur rund die Hälfte der Wassermenge aufnehmen. Der Anteil der Fahrspuren von der gesamten Fläche ist allerdings minimal. Anders hingegen sieht es bei der CTF und

Messung Wasserinfiltration 04.07.2022			
Messpunkt Nr.	Variante	versickerte Wassermenge in Liter	in % 100%=17,67l
1	CTF Spur	9,4	53,2
2		8,4	47,5
3	CTF ohne Spur	14,8	83,8
4		17,1	96,8
5	RTF	14,1	79,8
6		13,5	76,4

Messung Wasserinfiltration 10.08.2022			
Messpunkt Nr.	Variante	versickerte Wassermenge in Liter	in % 100%=17,67l
1	CTF Spur	10,4	58,9
2		10,1	57,2
3	CTF ohne Spur	16,1	91,1
4		17,67	100,0
5	RTF	16,4	92,8
6		15,5	87,7

Tabelle 2: Eigene Infiltrationsmessung

RTF-Variante aus. Diese waren in der Lage, in jedem Fall mehr als dreiviertel der Wassermenge aufzunehmen. Zum Zeitpunkt des 12.08.2022 herrschte über mehrere Wochen Regenmangel. Demzufolge wurden die Ergebnisse vom ersten Versuchstermin, vom zweiten Versuchstermin übertroffen. In allen Versuchen konnte festgestellt werden, dass die Menge des aufgenommenen Wassers im Laufe der Minute proportional abnahm. Im Fortlauf der Versuchsreihe sollte herausgefunden werden, wie sich die Infiltration mit Zunahme der generellen Wassersättigung der Böden verhält. Hier wird eine schnellere und größere Wasseraufnahme erwartet.

4.3 Penetrometer / Eindringwiderstand

Dieser Versuch sollte ursprünglich in Eigenregie durchgeführt werden. Aufgrund des massiven Anteils an kleinen Steinen und dem ausgetrockneten Boden war es nicht möglich, aussagekräftige und vor allem repräsentative Messergebnisse zu generieren. Dennoch ist der Aspekt des Eindringwiderstandes in der CTF-Thematik unbedingt in Betracht zu ziehen. Aus diesem Grund wurde sich an einer ähnlichen Publikation bedient, um die Tendenz des CTF-Einflusses darzustellen.

Herangezogen wurde hierfür die Ausarbeitung „Regelspurverfahren in der Landwirtschaft“ von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft aus dem Jahr 2018. Dort wurden die Parzellen in befahren und unbefahren unterteilt. Untersucht wurde auf verschiedenen Bodenarten und Kulturen. Wie in Anhang III gut zu erkennen, ist kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Varianten zu erkennen, nicht einmal eine Tendenz ist erkennbar. Je nach Bodenart und Kultur verläuft die Kurve identisch. Auffallend ist dennoch, dass sich der gemessene Druck in Megapascal (MPa) in allen Varianten im selben Bereich bewegt. Dieser liegt zwischen 0,5 und 2,5 MPa. Die Messungen fanden zu optimalen Bedingungen statt, das heißt nicht zu feucht oder zu trocken. Der Versuch befand sich dort ebenfalls im Anfangsstadium.

Auf unserer Versuchsfläche sind ähnliche Messergebnisse erwartet worden. Eine signifikante Verbesserung des Eindringwiderstandes wird in der Regel erst nach mehreren Jahren eintreten. Bodenart, Bewuchs und Witterungsbedingungen haben auch hier einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis.

4.4 Klassische Spatenprobe

Als qualitative Bewertung der Versuchsfläche wurde die klassische Spatenprobe ausgewählt. Anhand des Leitfadens „Bodenbeurteilung im Feld“ der Organisation „Service romand de vulgarisation agricole“ (kurz SRVA) aus dem schweizerischen Lausanne, und mithilfe von Dr. Thomas Anken von der Versuchsanstalt Agroscope wurden die Bodenprofile bewertet. Vorteil der Spatenprobe ist die Effektivität. In der Praxis kann man anhand dieser Beurteilung die wichtigsten Schlüsse über den Zustand des Bodens ableiten. Häufig wird die Spatenprobe als erstes Mittel zur Kontrolle der Befahrbarkeit vor Arbeitsgängen wie beispielsweise der Bodenbearbeitung herangezogen (D. HEGGLIN, BIOAKTUELL, 2016).

Nachteil der Beprobung ist die punktuelle Betrachtung. Um aussagekräftige Aussagen treffen zu können, muss die Probe an mehreren Stellen erfolgen. So wurde es

auch in diesem Versuch praktiziert. Pro Messpunkt wurde die Probe 3x wiederholt, sodass pro Messpunkt eine repräsentative Aussage getätigt werden kann. In diesem Fall ist es zudem vorteilhaft, dass die Gesamtgröße der Versuchsfläche überschaubar ist und dementsprechend innerhalb des Schrages keine großen Unterschiede bezüglich des Bodens vorgefunden wurden. Das Pendant zur Spatenprobe ist die Untersuchung des Krümenprofils, wobei ein bestimmter Bereich freigelegt wird, um die Profilwand zu betrachten. In unserem Versuch wird nur der ausgestochene Erdziegel bewertet.

Die Bodenbeurteilung wurde am 26. Juli 2022 durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt hatte es schon mehrere Wochen keine nennenswerten Niederschläge gegeben, sodass der Boden sehr ausgetrocknet war, was den Einstich in den Boden erschwerte. Die bereits erwähnten steinigten Böden trugen ebenso ihren Teil dazu bei. Wie in den Anhängen IV bis VI zu erkennen, war es aufgrund der Trockenheit kaum möglich, einen 30cm langen Erdziegel ohne zerbröseln zu entnehmen. Dennoch war erkennbar, welchen Einfluss eine geringere Befahrung auf den Boden haben kann. In Anhang IV dargestellt, ist die Spatenprobe aus dem nicht befahrenen CTF-Bereich. Der Boden macht auf den ersten Blick einen krümeligen und gut durchwurzelten Eindruck. Zuerst werden Feuchtigkeit, Geruch und Farbe bewertet. Wie in Anhang IV zu erkennen, zerbröseln die kleinen Erdbrocken, weshalb der Boden als „brüchig“ angesprochen wird. Folgend wird der Geruch untersucht. Riecht der Boden „normal“, bzw. hat den typischen Erdgeruch, stellt es ein Zeichen für eine gute Durchlüftung und Abbau organischen Materials dar. Riecht der Boden jedoch leicht faulig, ist dies ein Anzeichen auf unzureichende Durchlüftung und Verdichtung.

In diesem Fall weist der Boden einen typischen Erdgeruch auf. Als nächstes wird die Farbe angesprochen. Diese Betrachtung gibt Aufschluss über den Luft- und Wasserhaushalt, sowie den Humusgehalt. Der untersuchte Erdziegel hat eine typische, einheitlich dunkle Farbe. Erzeugt wird diese Farbe durch den Humus, welcher diesen grauen bis schwarzen Ton ins Erdreich bringt. Zu achten ist zum Beispiel auf blaugraue Farbtöne, die auf einen vernässten Standort hindeuten. Diese werden durch Eisenverbindungen ausgelöst und hemmen die Pflanzen im Wurzelwachstum. Anhand des Leitfadens wird im Weiteren der Boden als solches näher betrachtet. Zuerst wird die Bodenart definiert, was in diesem Fall der lehmige Sand ist. Es folgt die Betrachtung der Bodenteilchen. Bodenbildungsprozesse und langjährige, intensive Bearbeitung des Bodens bilden im Zusammenspiel mit dem Humus verschiedene Typen der Bodenteilchen. In Anhang IV sind diese gut anzusprechen.

Die Bodenteilchen sind tendenziell rund und porös. Eine Humushülle ist leicht zu erkennen. Konsequenz der Betrachtung ist die Bezeichnung der Bodenteilchen als „Bröckel“, typisch für mittelschwere Böden. Die Bodenstruktur wird als gut bewertet. Im Bereich der Gefügestufen bezeichnet man die Probe als ein Mischgefüge. Diese zeichnen sich durch ein Gemisch aus verschiedenen Bodenteilchen aus. Vorzufinden sind Mischgefüge vorwiegend auf Flächen mit intensiver Bewirtschaftung. Weiter wird der Erdziegel auf verschiedene Schichten untersucht. Hierbei wird mithilfe der Abwurfprobe festgestellt, ob verdichtete Zonen vorhanden sind. In der CTF-Probe konnten keine Schichten festgestellt werden. In dem üblichen ackerbaulichen Schichtsystem tritt in der Regel die erste Schicht bei 30cm, dem gewöhnlichen Bearbeitungshorizont, auf. Treten jedoch grobe Schichten auf, ist eine erhebliche Reduzierung des Wurzelsystems die Folge. Weiter wird der Abbau von organischem Material untersucht. Es wurden keine Rückstände organischer Substanz in den Proben festgestellt. Häufig findet man Rückstände von nicht vollständig verrottetem Mist oder Stroh, was ein Indiz für die biologische Abbauaktivität des Bodens gibt. Ernterückstände sollen generell bis zur nächsten Ernte abgebaut sein. Eine gute Zersetzung beginnt bei der Bodenbearbeitung und optimalen Einmischung in den Boden. Ein weiteres Indiz für die Beurteilung des Bodens ist die Wurzelentwicklung. Vor allem in Kulturen wie Raps oder Zuckerrüben sind Bodenverdichtungen sehr gut zu erkennen. In diesem Fall der Kunstwiese ist der Oberboden geprägt durch Feinwurzeln. Gut zu erkennen sind die senkrecht verlaufenden Wurzeln auf der kompletten Länge des Bodenziegels. Die Bezeichnung als sehr gut durchwurzelt findet hier also Anwendung. Abschließend findet die Bewertung der Bodenoberfläche statt. Es werden Verschlammung, Erosion, Fahrspuren und die Anzahl der Regenwurmkothaufen betrachtet. In dem Fall der Kunstwiese und dichtem Bewuchs ist das Risiko der Erosion sowie der Verschlammung überschaubar. Fahrspuren sind aus demselben Grund wenig gefährdet, da der Boden durch die dichte Grasnarbe sehr tragfähig ist. Dennoch treten Verdichtungen im Unterboden auf, was auf den ersten Blick nicht sofort ersichtlich ist. Regenwurmkothaufen an der Bodenoberfläche sind gut zu erkennen. Ebenso die Anzahl der Regenwürmer im Boden ist positiv zu bewerten.

Im Weiteren wird der Erdziegel des RTF Bereichs, Anhang V, betrachtet. Auf eine komplette Gesamtbeurteilung wird verzichtet. Die Unterschiede beschränken sich auf wenige Details, welche folgend beschrieben werden. Im Bereich der Schichtung des Erdziegels sieht man Unterschiede. Einzelne Schichten sind nicht zu erkennen,

dennoch ist der Boden nicht so locker und krümelig gelagert, wie bei der CTF-Variante. Vor allem in der obersten Bodenschicht sind die Bodenteilchen sehr kantig und größere, verdichtete Bodenteilchen sind zu finden. Darauf fußt der Eindruck, dass in diesem Bereich weniger Wurzeln zu finden sind. Die vorhandenen Wurzeln haben es schwerer, durch die etwas unregelmäßig verdichteten Bodenteilchen zu stoßen. Die markanten Unterschiede zwischen den Varianten liegen also größtenteils in den Bereichen Wurzelentwicklung, Schichtung und Form der Bodenteilchen. Dennoch haben diese nachgewiesenen negativen Einflüsse keinen signifikanten Einfluss auf die Frischmasse, wie Anhang I und II belegen.

Abschließend zeigt Anhang VI den Erdziegel aus der CTF-Fahrspur. Deutlich zu erkennen ist hier die massive Verdichtung und Schichtung. Die Bodenteilchen sind kantig und die Bruchflächen sind glatt. Eine Durchwurzelung findet kaum statt, die vorhandenen Wurzeln liegen sehr flach. Einige wenige Wurzeln konnten in die tiefere Schicht erreichen. Oberirdisch sind die Fahrspuren deutlich an dem Minderaufwuchs zu erkennen. Der augenscheinliche Eindruck wird durch den deutlichen Minderertrag bei der Frischmassemessung bestätigt (Anhang I und II).

5 Diskussion der Ergebnisse

Bei der Bewertung der Versuchsergebnisse wird eine leichte Tendenz deutlich. Die CTF-Variante hat in allen Untersuchungen bessere Werte erzielt, als die RTF-Variante. In jeder Bewertung oder Diskussion sollte erwähnt werden, dass in diesem Versuch die kurz.- und mittelfristigen Auswirkungen im Fokus stehen. Die Versuchsfäche befand sich im ersten Jahr der Bewirtschaftung mittels CTF-Verfahren.

In den aussagekräftigsten Kategorien der Frischmassemessung und Infiltration sind gemessene Vorteile zu erkennen. Diese sind zurückzuführen auf die in der klassischen Spatenprobe beschriebenen Unterschiede. Hierzu zählen vor allem die sehr lockere Struktur des Bodens und das Nichtvorhandensein von Schichten. Vor allem der Parameter der Frischmasse steht in enger Verbindung mit dem wirtschaftlichen Mehrwert. Aus agronomischer Sicht ist es der wichtigste Parameter. Dieser Versuch hat gezeigt, dass der Frischmasseertrag kurzfristig etwas steigt. Es ist davon auszugehen, dass der Ertrag der CTF-Variante jedes Jahr weiter leicht ansteigt, bzw. auf demselben hohen Niveau bleibt. Bei der RTF-Variante besteht ein etwas höheres Risiko bei Eintreten von Wetterextremen wie Dürre oder Starkregenereignissen. Demzufolge haben Jahreseffekte einen sehr großen Einfluss.

Etwas überraschend war der ausbleibende, in der Literatur beschriebene, positive Effekt auf den Eindringwiderstand. Diese Verbesserung konnte durch die Versuche der „Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft“ nicht bestätigt werden. Der subjektive Eindruck untermauert diese Feststellung.

Stattdessen konnte eine etwas stärkere Aktivität der Wurzelbildung festgestellt werden, was in der Literatur als Durchwurzelbarkeit definiert ist. Gemeint ist die tatsächliche Tiefe, bis wo die Pflanzenwurzeln in der Lage sind, zu wurzeln (S. SCHROETTER, BMEL, 2019). Durch dieses intakte Bodengefüge entstehen die besseren Werte in den quantitativen Versuchen. Wasser kann besser aufgenommen werden, Pflanzen können versorgt werden und entwickeln mehr ober.- und unterirdische Biomasse, was vor allem in trockenen Jahren die Vorteile dieses Verfahrens sein können. Auf der anderen Seite können hohe Niederschlagsmengen schneller vom Boden aufgenommen, und Staunässe verhindert werden. Unter extremen Witterungsbedingungen, ob zu nass oder zu trocken, werden die Stärken unter mitteleuropäischen Bedingungen also erst erkennbar (K. HORSCH, 2021). Der Sommer 2022 war in der Versuchsregion sehr trocken. Interessant wäre es zu wissen, wie die Versuchsergebnisse unter den lokalen, „normalen“ Witterungsbedingungen ausgesehen hätten.

6 Fazit und Ausblick

Die Versuchsergebnisse spiegeln das Bild der theoretischen Literatur wider. Unter den mitteleuropäischen Ertragsstandorten kann das CTF-Verfahren seine Stärken nicht vollends ausschöpfen. Die Versuchsergebnisse zeigten zwar in jeder Kategorie bessere Werte als beim RTF, allerdings in keinem signifikanten Ausmaß. Es ist davon auszugehen, dass die Vorteile unter normalen Witterungsbedingungen noch weniger zum Vorschein gekommen wären. Zum Zeitpunkt der Messungen war der Boden stark ausgetrocknet und der Aufwuchs hatte sein Wachstum zeitweise aufgrund von Wassermangel eingestellt. Die Versuche befanden sich allesamt in der Anfangsphase, das heißt die Ergebnisse sind überwiegend kurzfristige Effekte. Die in der Literatur beschriebenen Langzeiteffekte konnten also dementsprechend nach einem Jahr noch nicht eintreten.

Um eine vollständige agronomische Bewertung des Verfahrens vornehmen zu können, sollte man diese zeitlich eingrenzen. Kurz.- und mittelfristige Vorteile wird der Praktiker aus pflanzenbaulicher Sicht erkennen können. Wirtschaftlich wird diese Erkenntnis allerdings auf sich warten lassen. Der kostentechnische Mehraufwand im Bereich der Maschinenumstellung oder Umrüstung ist nicht zu unterschätzen. Der minimale Mehrertrag stemmt diese Kosten nicht. Wird hingegen das Direktsaatverfahren angewendet und somit der maschinelle Einsatz in Form von Verschleiß, Kraftstoff und Arbeitszeit verringert, kann vom CTF profitiert werden. Betrachtet man das System im langfristigen Stil, werden die herausgeforderten Vorteile leicht überwiegen. In dieser Betrachtung wird von einem mitteleuropäischen Standort mit durchschnittlichem Ertragsniveau ausgegangen. Für spezialisierte Ackerbaubetriebe ist diese Art der Bewirtschaftung eine Option. Sie verfügen über die Fläche und die optimale Auslastung der zum Teil sonderangefertigten Technik. Die Direktsaat erfordert bei der Anwendung ebenfalls pflanzenbauliche Spezialwissen, denn die Bestandesführung in Hinblick auf Pflanzengesundheit und Unkrautmanagement wird durch die geringe Bodenbewegung erschwert. Im Bereich der Sonderkulturen und Hackfrüchte ist eine konsequente Umsetzung aufgrund der geringen Arbeitsbreite, vor allem im Bereich der Erntetechnik, schwierig. Dort wird eher mit dem Prinzip der ganzflächigen Befahrung mittels Breitreifen gearbeitet, wie zum Beispiel beim Zuckerrübenroder. Eine erfolgreiche Nutzung des CTF beschränkt sich demzufolge auf die Druschkulturen, sowie den Silomais. Im Grünland kann es ebenso angewendet werden, wenn die passende Technik gewährleistet ist. In diesen Kulturen ist es möglich, breite Arbeitsgeräte von der Aussaat bis hin zur Ernte

einzusetzen. Die Entscheidung der Umstellung auf CTF bedarf einer sorgfältigen Planung und eine Umstellung der Denkweise. Konsequente Einhaltung des Spurensystems ist die Folge, um eines Tages die Vorteile des Systems nutzen zu können.

In Jahren mit durchschnittlichen Witterungsbedingungen werden keine großen Vorteile des CTF zum Tragen kommen. In Perioden von großer Nässe oder Dürre, werden diese jedoch sichtbar. Konstantin Horsch stellte diese These auf, nachdem der Versuchsbetrieb der Firma Horsch Maschinenbau GmbH im tschechischen Knezmost seit über zehn Jahren striktes CTF angewendet hatte. In diesen Zehn Jahren traten sowohl sehr trockene, als auch sehr nasse Jahre auf (K. HORSCH, 2021). Das CTF ist in dieser Hinsicht als eine Art Versicherung zu betrachten. Man bekommt die Vorteile erst zu spüren, wenn den Landwirten witterungsbedingte Hürden gestellt werden.

In Hinblick auf die stetig steigende Relevanz des Aspektes der Nachhaltigkeit wird der CTF-Ansatz sich in den kommenden Jahren weiterentwickeln. Auch hier ist das Stichwort der Direktsaat zu nennen. CTF und Direktsaat sind in Mitteleuropa in den meisten Fällen eng miteinander verbunden. Das CTF wird nie die Bedeutung erlangen wie in den ackerbaulichen Trockenzonen Australiens, eine stetige Weiterentwicklung und Optimierung des Verfahrens wird allerdings auch hierzulande Einzug halten, um die Vorteile für den einfachen Landwirt greifbar zu machen.

7 Zusammenfassung

In dieser Ausarbeitung wurde die alternative CTF-Befahrungsstrategie auf seine agronomischen Einflüsse untersucht. Dazu wurde der aktuelle Stand der Literatur mit den realen Bedingungen und Anforderungen der Landwirte verglichen. Besondere Beachtung fand hierbei die Anwendung in der Praxis. Ein hohes Maß an Konsequenz in der Denkweise der Unternehmer und Fahrer der Landmaschinen, sowie hohe Kosten bei der Umrüstung der Standardmaschinen waren zwei markante Punkte in der Bewertung. Weiterer wichtiger Punkt war die Einbeziehung des Direktsaatverfahrens, welches eng mit dem CTF verknüpft ist.

In Zusammenarbeit mit der Swiss Future Farm wurde ein Versuch angelegt, welcher die theoretisch genannten Beweggründe pro CTF untersuchen sollte. Es wurden vier aussagekräftige Bewertungskriterien ausgewählt. Die Versuche wurden auf einer bis zu dem Versuchszeitpunkt einjährigen Kunstwiese angelegt. Zu den vier Parametern zählte der Frischmasseertrag, die Infiltration, der Eindringwiderstand und die Spatenprobe. Die Messung des Eindringwiderstandes mittels Penetrometer musste gestrichen werden, weshalb auf die Messergebnisse einer anderen öffentlichen Publikation zurückgegriffen wurde.

Bei der agronomischen Bewertung kommen die theoretischen Fakten sowie die Tendenz der Versuchsergebnisse zum Tragen. Die Etablierung des CTF-Verfahrens ist kurzfristig mit hohem Planungsaufwand und zusätzlichen Kosten verbunden. Kurzfristige Verbesserungen hinsichtlich Mehrertrags oder Senkung der Kosten sind nicht zu erwarten. CTF ist ein langfristig angelegtes Verfahren, dessen Vorteile zum Großteil erst nach Jahren zum Vorschein kommen. Druschkulturen sind hierfür prädestiniert, denn dort kann die Direktsaat am einfachsten Anwendung finden. Die Nutzung von CTF in Deutschland wird weiterhin langsam zunehmen, denn die Anwendung von satellitenbasierten Lenksystem wird immer mehr zum Standard beim Schlepperkauf. Das Lenksystem stellt die Basis für ein CTF-System dar. Ist dieser erste Schritt getan, ist es bis zu einer Umstellung auf ein ganzheitliches CTF nicht mehr weit. Auf den mitteleuropäischen Hohertragsstandorten wird aber voraussichtlich weiterhin an dem RTF festgehalten. Unternehmerisch erzielen die Betriebe nach wie vor in diesem System die höchsten Gewinne. Dennoch werden sich auch diese Betriebe mit der Zeit an das CTF herantasten. Die Automatisierung wird in der Landwirtschaft mehr und mehr Einzug halten. In diesem Zusammenhang wird das CTF voraussichtlich eines Tages die Masse an Betrieben erreichen, denn die Autonomisierung bedarf einer sorgfältigen Spurplanung. Das

wiederum ist der Einstieg in das CTF und somit die Grundlage für den Einsatz von autonomen Maschinen, siehe das Konzept NEXAT, was derzeit in aller Munde ist.

Literaturverzeichnis

ANKEN, T. (2020): *Permanente Fahrspuren reduzieren Bodenverdichtungen – Weiterentwicklung bodenschonender Anbausysteme durch Controlled Traffic Farming*, Agroscope Transfer Nr. 336 / 2020

BRÜSE, C. (2020): *Grimme: Variable Rate Control*, profi [online]
<https://www.profi.de/aktuell/neuheiten/grimme-variable-rate-control-11865441.html> [abgerufen 15.01.2023]

CHAMEN, T. (2015): *Controlled Traffic Farming – from worldwide research to adoption in europe and ist future prospects*,
Acta Technologica Agriculturae 3 / 2015

CULIUC, N. - LWK NRW (2021): *Direktsaat – Das sind die Vor.- und Nachteile*, agrarheute [online] <https://www.agrarheute.com/pflanze/getreide/direktsaat-nachteile-442925> [abgerufen am 14.01.2023]

DAVIES, S. ET AL. (2021): *Developing a controlled traffic farming system*[online]
<https://www.agric.wa.gov.au/soil-compaction/developing-controlled-traffic-tram-line-farming-system?page=0%2C0> [abgerufen am 25.10.2022]

DLG E.V. (2021): *Die Preisträger des Innovation Award Agritechnica 2022* [online]
<https://www.dlg.org/de/landwirtschaft/presse/textarchiv#!/news/preistraeger-des-innovation-awards-agritechnica-2022> [abgerufen am 10.11.2022]

EDER, J. (2016): *Permanente Fahrspuren: 5 Fakten zu Controlled Traffic Farming* [online] [https://www.agrarheute.com/technik/ackerbautechnik/permanente-fahrspuren-5-fakten-controlled-traffic-farming-530242#:~:text=Controlled%20Traffic%20Farming%20\(CTF\)%20bedeutet,Fahr%2D%20und%20einen%20Wachstumsraum%20getrennt.](https://www.agrarheute.com/technik/ackerbautechnik/permanente-fahrspuren-5-fakten-controlled-traffic-farming-530242#:~:text=Controlled%20Traffic%20Farming%20(CTF)%20bedeutet,Fahr%2D%20und%20einen%20Wachstumsraum%20getrennt.) [abgerufen am 18.11.2022]

GÖGGERLE, T. (2020): *Was bedeutet eigentlich ISO XML*, agrarheute [online]
<https://www.agrarheute.com/technik/traktoren/iso-xml-Datei-erklart-563240> [abgerufen am 18.11.2022]

- GÖGGERLE, T. (2021): *agrarheute Traktoren 2021: Marktübersicht mit Daten und Preisen, agrarheute [online]*, <https://www.agrarheute.com/technik/agrarheute-traktoren-2021-marktuebersicht-allen-daten-preisen-573674> [abgerufen am 03.01.2023]
- HEEGE, H.J. (2013): *Precision in crop farming*, 1. Auflage, Springer Verlag
- HEGLIN, D. (2016) *Den Boden unter den Füßen kennen – Spatenprobe sei Dank*, Bioaktuell 10 / 2016
- HOLPP, M. (2012): *Untersuchungen zu Controlled Traffic Farming und satellitenbasierten Lenksystemen*, Forschungsbericht Agrartechnik des Fachausschusses Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik Im VDI (VDI-MEG) Nr. 513
- HOLPP, M. ET AL. (2013): *Controlled Traffic Farming – Mit permanenten Fahrspuren zu mehr Bodenschonung*, ART- Bericht 761
- HORSCH, M. (2013): *Praxiseinführung von CTF auf Horsch Versuchsbetrieb „AgroVation“* [online] <https://www.horsch.com/unternehmen/standorte/agrovation> [abgerufen am 15.12.2022]
- HORSCH, K. (2021): *Was ist AgroVation?*, Fachbeitrag in Videoform [online] <https://www.youtube.com/watch?v=amV8646NxjY> [abgerufen am 15.12.2022]
- NEXAT GMBH (2021): *Controlled Traffic Farming [online]* <https://www.nexat.de/controlled-traffic-farming/> [abgerufen am 18.11.2022]
- NOACK P.O. (2018): *Precision Farming, Smart Farming, Digital Farming*, 1. Auflage Wichmann Verlag

THOMSEN, M.N. ET AL. (2018): *Farmers' perception of Controlled Traffic Farming (CTF) an associated technologies*, Department of food and resource economics – university of Copenhagen

SCHROETTER, S. BMEL (2019): *Durchwurzelbarkeit – Ein Indikator für die Bodenfruchtbarkeit [online]*
<https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/bodenschutz/durchwurzelbarkeit.html>, [Abgerufen am 28.12.2022]

SCHULZ, S. (2022): *Holmer Terra Dos 5 Zuckerrübenroder*, profi [online],
<https://www.profi.de/test/fahrbericht/holmer-terra-dos-5-zuckerrubenroder-viel-neues-weniger-gewicht-29778.html> [abgerufen am 10.01.2023]

Eidesstaatliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides Staat, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Thema „Agronomische Bewertung von Controlled- Traffic- Farming in der Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen anhand eines Praxisversuchs“, selbstständig und nur unter Zuhilfenahme der ausgewiesenen Hilfsmittel angefertigt habe. Sämtliche Passagen der Arbeit, die im Wortlaut oder dem Sinn nach anderen gedruckten oder im Internet verfügbaren Werken entnommen wurden, habe ich durch genaue Quellenangaben kenntlich gemacht.

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

Karolinenkoog, 25.03.2023

Johannes Christian Off

Anhang

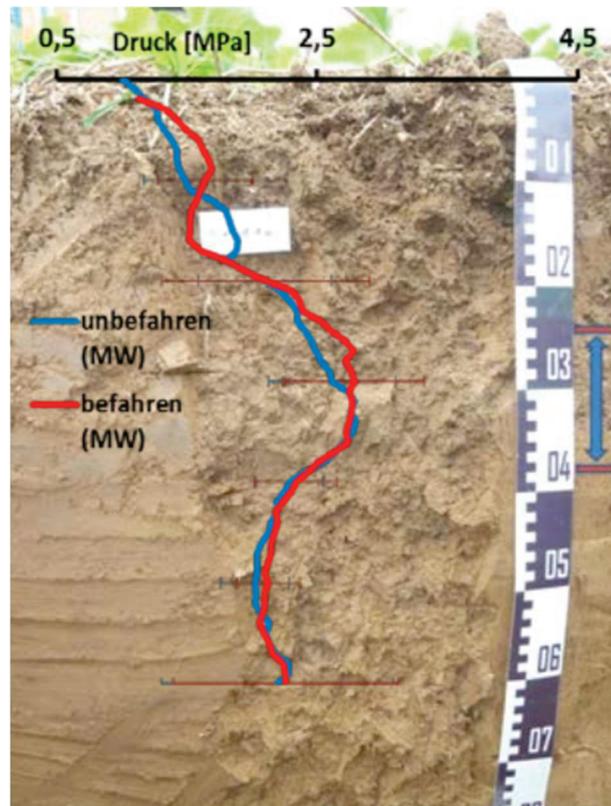
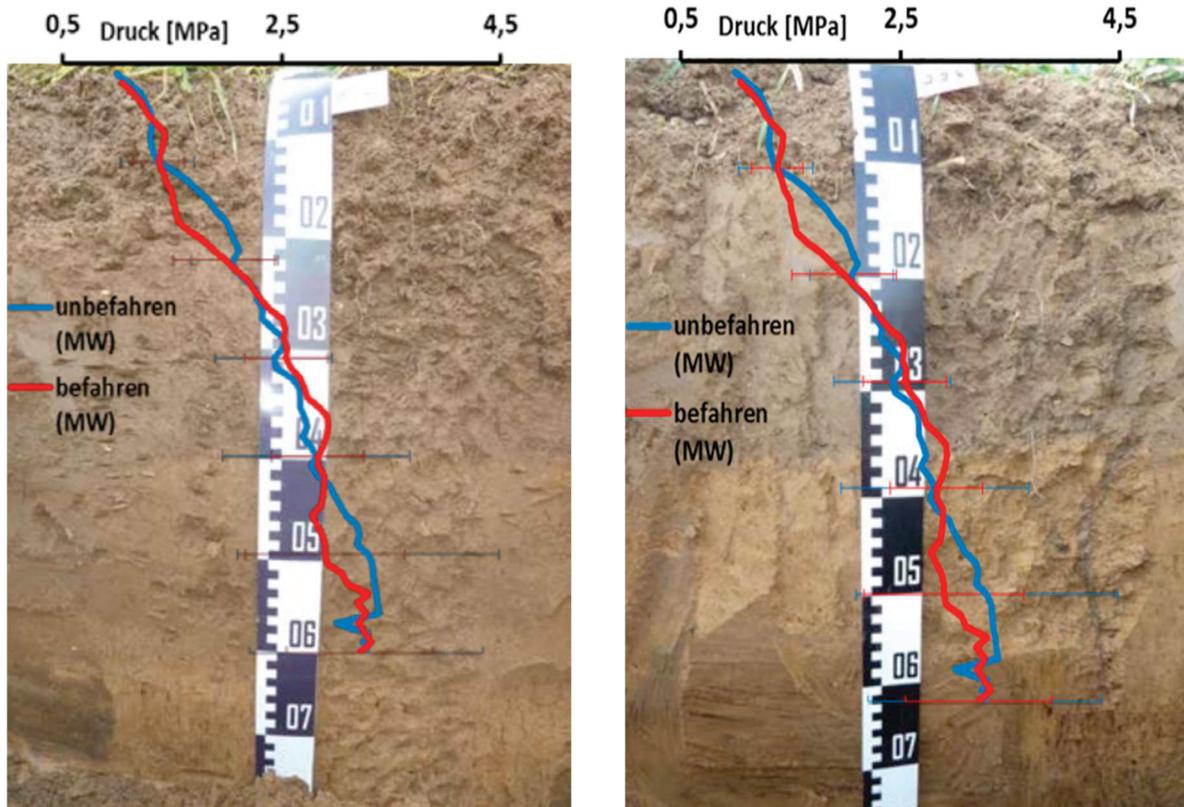
I. Frischmasseerhebung Kunstwiese „Herrenbünt“ 05.07.2022

Frischmasseerhebung Kunstwiese "Herrenbünt" 05.07.2022				
	1. Reihe	2. Reihe	3. Reihe	
1	10,7	12,3	9,6	
2	14,5	14,6	12,5	CTF Fahrspur
3	11,5	13,8	12	CTF Fahrspur
4	11,5	13,8	12	
5	13,8	14,3	12,3	
6	15,5	13,4	14,1	
7	15,3	14,5	14,2	
8	12,3	14	13,8	CTF Fahrspur
9	12,0	13	13,5	CTF Fahrspur
10	12,0	13	11,5	
11	11,8	14,1	11,7	
12	14,1	14	13,8	
13	10,5	14	11,3	
14	11,7	12,5	13,8	CTF Fahrspur
15	10,7	11	12,8	CTF Fahrspur
16	12,1	14,2	10,9	
17	10,3	14	10,2	
18	11,5	12,1	11,2	
19	11,3	13,1	11,7	
20	12,2	13,9	12,1	
21	12,1	12,9	10,6	
22	12,0	13	12,2	
23	11,5	13,1	10,5	
24	12,5	13,1	11,4	
25	12,0	12,2	12,6	
26	14,8	11,8	11	
27	12,0	11,4	11,9	
28	11,7	11	11,3	
29	11,1	10,7	10,2	
30	15,2	10,8	10,5	
Summe ings.	370,2	389,6	357,2	
Summe CTF	187,9	202,3	188,9	
Summe RTF	182,3	187,3	168,3	
Diff. %	50,76	51,93	52,88	
	49,24	48,07	47,12	
	3%	7%	11%	

II. Frischmasseerhebung Kunstwiese „Herrenbünt“ 12.08.2022

Frischmasseerhebung Kunstwiese "Herrenbünt" 12.08.2022				
	1. Reihe	2. Reihe	3. Reihe	
1	10,8	12	11,4	
2	14,1	14,1	12,1	CTF Fahrspur
3	10,9	13,5	11,8	CTF Fahrspur
4	11,7	14,2	12,9	
5	13,5	14,5	12,8	
6	14,9	14,8	14,4	
7	15,1	14	14,1	
8	12,0	13,1	12,6	CTF Fahrspur
9	12,6	13,4	12,9	CTF Fahrspur
10	11,8	13,9	13,4	
11	11,9	14,4	12,4	
12	14,5	14,9	14	
13	10,8	15,1	13,1	
14	12,0	12,1	12,4	CTF Fahrspur
15	10,9	11,1	11,9	CTF Fahrspur
16	12,9	14,5	12,4	
17	10,9	14,2	12,1	
18	11,4	12,9	12,8	
19	11,3	12,7	10,9	
20	12,8	11	14,1	
21	12,4	11,9	12,6	
22	11,4	12,8	12,4	
23	11,3	13,2	12,5	
24	11,9	11,9	12,4	
25	12,6	11,8	12,9	
26	13,7	12,4	13,1	
27	12,8	12,1	11,1	
28	12,1	12,2	10,4	
29	12,5	11,5	11,2	
30	13,1	10,7	11,9	
Summe ings.	370,6	390,9	375	
Summe CTF	187,5	205,1	192,2	
Summe RTF	183,1	185,8	182,8	
Diff. %	50,59	52,47	51,25	
	49,41	47,53	48,75	
	2%	9%	5%	

III. Fremdmessung Eindringwiderstand



IV. Erdziegel CTF



V. Erdziegel RTF



VI. Erdziegel CTF Fahrspur

