



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Studiengang Agrarwirtschaft

Prof. Dr. sc. agr. Clemens Fuchs

Prof. Dr. Becke Strehlow

**Folgen der Fruchtfolgenumstellung auf eine 4-jährige Anbaupause
in Pflanzkartoffeln unter Berücksichtigung ökonomischer und
ökologischer Maßgaben im gesamten Anbausystem**

urn:nbn:de:gbv:519-thesis2023-0267-0

von

Magnus Natzius

Neubrandenburg

28.09.2023

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	4
Tabellenverzeichnis.....	7
Abkürzungsverzeichnis	9
1. Einleitung und Problemstellung.....	10
1.1. Zielsetzung.....	11
1.2. Aufbau der Arbeit	12
2. Datengrundlage und Methodik	15
3. Herkunft und Bedeutung der Kartoffel.....	17
3.1. Einordnung in das Pflanzenreich	17
3.2. Botanik der Kartoffel	18
3.3. Historische Entwicklung des Kartoffelanbaus	22
3.4. Nutzungsrichtungen	26
3.5. Anbau.....	29
3.5.1. Weltweit.....	30
3.5.2. Deutschlandweit	32
3.5.3. Vergleich Mecklenburg-Vorpommern auf Bundeslandebene	37
3.6. Aktuelle Situation im Pflanzkartoffelanbau.....	41
4. Grundlagen der CO ₂ - und Humusbilanzierung.....	43
4.1. Das Kyoto-Protokoll und das Pariser Abkommen.....	43
4.2. CO ₂ - und Treibhausgasemissionen	45
4.3. Lösungsmöglichkeiten in der Pflanzenproduktion.....	47
4.4. Humus.....	49
5. Vorstellung des Beispielbetriebs	53
5.1. Betriebsspiegel	53
5.2. Beschreibung und Vergleich der Anbauverfahren auf ökonomischer und ökologischer Ebene	56
5.2.1. Winterweizen.....	57
5.2.2. Wintergerste	59

5.2.3.	Hybridroggen	61
5.2.4.	Sommerweizen.....	63
5.2.5.	Lupinen.....	66
5.2.6.	Winterraps	67
5.2.7.	Zuckerrüben	70
5.2.8.	Pflanzkartoffeln.....	72
5.2.9.	Wirtschaftskartoffeln.....	75
5.3.	Analyse der Fruchtfolge	78
5.3.1.	3-jährige Anbaupause	79
5.3.2.	Betriebseigene 4-jährige Anbaupause	80
5.3.3.	4-jährige Anbaupause in Pflanzkartoffeln mit maximaler Humuserzeugung	82
5.3.4.	4-jährige Anbaupause in Pflanzkartoffeln mit CO ₂ -freien Vorleistungen	85
5.3.4.1.	Zusammenfassung der betriebseigenen Fruchtfolge mit CO ₂ -freien Vorleistungen.....	85
5.3.4.2.	Zusammenfassung der betriebseigenen Fruchtfolge mit Ausrichtung auf maximalen Humusaufbau und CO ₂ -freie Vorleistungen	87
5.3.5.	Betriebseigene Anbaupause von 4 Jahren zuzüglich einer CO ₂ -Steuer	89
6.	Zusammenführung und Vergleich der Fruchtfolgen.....	92
6.1.	Ökonomische Betrachtung.....	92
6.2.	Ökologische Betrachtung.....	95
6.3.	Trade off zwischen ökologischen und ökonomischen Zielen.....	100
6.4.	Exkurs Zertifikathandel	104
7.	Diskussion und Empfehlungen.....	107
8.	Zusammenfassung.....	114
	Literaturverzeichnis	116
	Eidesstattliche Erklärung.....	121

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklungsphasen der Kartoffelpflanze	21
Abbildung 2: Daten zur Einführung der Kartoffeln in Europa (fett dargestellt: Jahr des Feldanbaus)	23
Abbildung 3: Zeittafel der Kartoffel	26
Abbildung 4: Wertschöpfungskette der Kartoffel	28
Abbildung 5: Top 10 der weltweit durchschnittlich produzierten Menge an landwirtschaftlichen Gütern in den Jahren 1991 bis 2021 in Tonnen.....	29
Abbildung 6: Weltweite Produktion und Anbauumfänge von Kartoffeln für die Jahre 1991 bis 2021	30
Abbildung 7: Durchschnittliche Anbaumengen von Kartoffeln weltweit verglichen nach Regionen in der Zeit von 1991 bis 2021.....	31
Abbildung 8: Top 10 der Länder mit den meisten produzierten durchschnittlichen Kartoffelmengen von 1991 bis 2021 in Tonnen.....	32
Abbildung 9: Produktionsfläche und Menge von Kartoffeln in Deutschland von 1991 bis 2021	33
Abbildung 10: Top 10 der am meisten produzierten landwirtschaftlichen Güter im Zeitraum von 1991 bis 2021 in Deutschland in Tonnen	33
Abbildung 11: Inlandverwendung von Kartoffeln von 1990/91 bis 2021/22 in Tonnen	34
Abbildung 12: Pro-Kopf-Verbrauch von Kartoffeln in Deutschland in Kilogramm von Wirtschaftsjahr 2012/13 bis 2021/22	36
Abbildung 13: Anbauflächenentwicklung Kartoffeln von 2016 bis 2020 nach Bundesländern in Hektar	37
Abbildung 14: Mittlere Kartoffelerträge nach Bundesländern mit mindestens 10.000 ha Anbaufläche in dt/ha zwischen 2016 und 2020	38
Abbildung 15: Standorte der Kartoffelverarbeitungsindustrien in Deutschland	39
Abbildung 16: Vergleich der Vermehrungsflächen und Vergleich zwischen allen Kulturen gesamt und dem Anteil von Kartoffeln in ha.....	41
Abbildung 17: Treibhausgasquellen im Marktfruchtbau	46
Abbildung 18: Treibhausgasemissionen durch 1 Kilogramm Mineraldünger-Stickstoff	48

Abbildung 19: Anbau-Verzeichnis für das Erntejahr 2022 in Hektar Gesamtfläche und Prozent.....	54
Abbildung 20: Aufteilung der Treibhausgase in der betriebseigenen 4-jährigen Anbaupause in Pflanzkartoffeln in kg CO ₂ e/ha je Kultur.....	86
Abbildung 21: Aufteilung des CO ₂ -Fußabdrucks je Kultur in der betriebseigenen Anbaupause von 4-Jahren in kg CO ₂ e/kg TM	87
Abbildung 22: Aufteilung der Treibhausgase in der 4-jährigen Anbaupause in Pflanzkartoffeln mit CO ₂ -freien Vorleistungen und maximalem Humusaufbau	88
Abbildung 23: Aufteilung des CO ₂ -Fußabdrucks je Kultur in der Fruchtfolge mit einer Anbaupause von 4 Jahren und maximalem Humusaufbau in kg CO ₂ e/kg TM.....	89
Abbildung 24: Vergleich der durchschnittlichen Erlöse der betrachteten Fruchtfolgen in €/ha je Fruchtfolge.....	92
Abbildung 25: Deckungsbeiträge der verschiedenen Fruchtfolgen; summiert und je Hektar .	93
Abbildung 26: Vergleich der Fruchtfolgen in Bezug zur DB-Erlös-Relation; nach Durchschnitt des Erlöses und Durchschnitt des Deckungsbeitrags der gesamten Fruchtfolge	94
Abbildung 27: Vergleich der Summen der Treibhausgasemissionen der einzelnen Fruchtfolgen; gesamt und Hektarbeträge in kg CO ₂ e bzw. kg CO ₂ e/ha.....	96
Abbildung 28: CO ₂ -Fußabdruck der verschiedenen Fruchtfolgen; gesamt je Fruchtfolge und durchschnittlich je Hektar der Fruchtfolge in kg CO ₂ e/kg TM.....	97
Abbildung 29: Humusbilanzierung der Fruchtfolgen in HÄ.....	98
Abbildung 30: Vergleich der Fruchtfolge bei einer bestehenden Relation zwischen Humus und Treibhausgasemissionen	99
Abbildung 31: Fruchtfolgenvergleich auf Hektarebene unter Maßgabe des Deckungsbeitrages und des CO ₂ -Fußabdruckes	100
Abbildung 32: Fruchtfolgenvergleich unter Maßgabe des durchschnittlichen Deckungsbeitrags und der Humusbilanz je Hektar	101
Abbildung 33: Einfluss der CO ₂ -Steuer auf die Wirtschaftlichkeit der Fruchtfolgen; Darstellung des Break-Even zwischen den Fruchtfolgen Betriebseigen 4 Jahre und 4 Jahre maximal Humus in Abhängigkeit der CO ₂ -Steuer und der summierten Deckungsbeiträge .	102
Abbildung 34: Einfluss der CO ₂ -Steuer auf die Wirtschaftlichkeit der Fruchtfolgen; Darstellung des Break-Even zwischen den Fruchtfolgen Betriebseigen 4 Jahre und 4 Jahre maximal Humus in Abhängigkeit der CO ₂ -Steuer und des durchschnittlichen Deckungsbeitrags.....	103

Abbildung 35: Vergleich verschiedene Bodenbearbeitungsverfahren und deren Auswirkung auf die organische Substanz im Boden, Messung von C_{org} in $kg\ m^{-2}$ im Boden in 5 cm Schritten zwischen 0 - 50 cm Bodentiefe 105

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenhänge zwischen der Pflanzgutgröße und der Erntemenge	20
Tabelle 2: Übersicht zu den Humusbilanzierungsmethoden	51
Tabelle 3: Deckungsbeitrag Winterweizen	57
Tabelle 4: Düngereinsatz Winterweizen inklusive Hektarkosten	58
Tabelle 5: Pflanzenschutzmitteleinsatz Winterweizen inklusive Hektarkosten.....	58
Tabelle 6: Deckungsbeitrag Wintergerste	59
Tabelle 7: Düngereinsatz Wintergerste inklusive Hektarkosten	60
Tabelle 8: Pflanzenschutzmitteleinsatz Wintergerste inklusive Hektarkosten	60
Tabelle 9: Deckungsbeitrag Hybridroggen	61
Tabelle 10: Düngereinsatz Hybridroggen inklusive Hektarkosten	62
Tabelle 11: Pflanzenschutzmitteleinsatz Hybridroggen inklusive Hektarkosten	63
Tabelle 12: Deckungsbeitrag Sommerweizen	64
Tabelle 13: Düngereinsatz Sommerweizen inklusive Hektarkosten.....	65
Tabelle 14: Pflanzenschutzmitteleinsatz Sommerweizen inklusive Hektarkosten	65
Tabelle 15: Deckungsbeitrag Lupinen	66
Tabelle 16: Pflanzenschutzmitteleinsatz Lupinen inklusive Hektarkosten	67
Tabelle 17: Deckungsbeitrag Winterraps	68
Tabelle 18: Düngereinsatz Winterraps inklusive Hektarkosten	68
Tabelle 19: Pflanzenschutzmitteleinsatz Winterraps inklusive Hektarkosten	69
Tabelle 20: Deckungsbeitrag Zuckerrüben	70
Tabelle 21: Düngereinsatz Zuckerrüben inklusive Hektarkosten	70
Tabelle 22: Pflanzenschutzmitteleinsatz Zuckerrüben inklusive Hektarkosten.....	71
Tabelle 23: Deckungsbeitrag Pflanzkartoffeln	72
Tabelle 24: Düngereinsatz Pflanzkartoffeln inklusive Hektarkosten.....	73
Tabelle 25: Pflanzenschutzmitteleinsatz Pflanzkartoffeln inklusive Hektarkosten	74
Tabelle 26: Deckungsbeitrag Wirtschaftskartoffeln	76
Tabelle 27: Düngereinsatz Wirtschaftskartoffeln inklusive Hektarkosten.....	76

Tabelle 28: Pflanzenschutzinsatz Wirtschaftskartoffeln inklusive Hektarkosten	77
Tabelle 29: Auflistung der Kennzahlen gruppiert nach Kultur für die Fruchtfolge mit 3 Jahren Anbaupause	79
Tabelle 30: Auflistung der Kennzahlen gruppiert nach Kultur für die Fruchtfolge mit 4 Jahren Anbaupause	81
Tabelle 31: Auflistung der Kennzahlen gruppiert nach Kultur für die Fruchtfolge mit 4 Jahren Anbaupause und maximalem Humusaufbau	83
Tabelle 32: Auflistung der Summen und Durchschnittswerte wesentlicher Faktoren der betriebseigenen 4-jährigen Anbaupause.....	85
Tabelle 33: Auflistung der Summen und Durchschnitte wesentlicher Faktoren der betriebseigenen 4-jährigen Anbaupause mit dem Ziel des maximalen Humusaufbaus.....	87
Tabelle 34: Auflistung der Kennzahlen gruppiert nach Kultur für die Fruchtfolge mit 4 Jahren Anbaupause und maximalem Humusaufbau und zusätzlicher Besteuerung des Treibhausgasausstoßes	90
Tabelle 35: Auflistung der Kennzahlen gruppiert nach Kulturen für die betriebseigene Fruchtfolge mit 4 Jahren Anbaupause und zusätzlicher Besteuerung des Treibhausgasausstoßes	90
Tabelle 36: Auflistung der Kennzahlen gruppiert nach Kulturen für die Fruchtfolge mit 4 Jahren Anbaupause und maximalem Humusaufbau und zusätzlicher Besteuerung des Treibhausgasausstoßes	91

Abkürzungsverzeichnis

WW	– Winterweizen
WG	– Wintergerste
WR	– Winterraps
PK	– Pflanzkartoffel
L	– Lupine
WK	– Wirtschaftskartoffel
ZR	– Zuckerrübe
HR	– Hybridroggen
SW	– Sommerweizen
EU	– Europäische Union
Akh	– Arbeitskraftstunde
PK	– Phosphor Kalium
N	– Stickstoff
FF	– Fruchtfolge
HÄ	– Humusäquivalent
TM	– Trockenmasse
o.D.	– ohne Datum

1. Einleitung und Problemstellung

Der Kartoffelanbau in Deutschland hat trotz rückläufiger Anbaufläche und abnehmendem Verzehr eine große wirtschaftliche Bedeutung (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (a), o.D.). So ist die Kartoffel in Ihrer Verwendung so vielseitig wie kaum ein anderes Lebensmittel und durchlebte einen wahren Wandel. Galt sie anfangs als tragendes und kostengünstiges Grundnahrungsmittel für die schnellwachsende Bevölkerung von aufstrebenden Industrieländern, so wird sie heute in vielerlei anderer Form dargereicht und verwertet (Miedaner, 2014).

Hierbei ist der Nahrungsmittelaspekt nur noch eine von vielen Verarbeitungsformen von Kartoffeln. Besonders auch Convenience Produkte erleben in der heutigen schnelllebigen Zeit Höhenflüge im Absatz. Grund dafür ist die Schnelligkeit und die Einfachheit in der Zubereitung, gleichzeitig können große Massen der Bevölkerung durch die moderaten Preise erreicht werden (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (a), o.D.).

Neben Produkten, bei denen bereits durch den Blick auf die Verpackung klar wird, dass es sich um Kartoffelprodukte handelt, gibt es solche ohne diesen sofort erkennbaren Zusammenhang. Dabei stehen insbesondere die Kartoffelsorten der Stärke- und Verarbeitungsrichtung im Mittelpunkt. Sicherlich, auch bei den Endprodukten der Verarbeitungsindustrie ist größtenteils klar, dass es sich um Kartoffelprodukte handeln muss. Beim Blick auf die Verpackungen führender Verarbeitungsindustrien bleibt eine Assoziation mit Kartoffeln unvermeidbar, zeigt sich doch so oft ein Kartoffelfeld oder eine Kartoffel neben dem, beispielhaft genannten, Fertigpüree. Anders sieht es allerdings in der Stärkeverarbeitung aus. Da wird die Knolle als Rohstoffträger genutzt. Die Stärke der Knolle ist ebenfalls in Kunststoffen und Klebern zu finden. Hierbei tritt das Ausgangsmaterial nicht so schnell in Erscheinung.

Trotz der hohen Weiterverarbeitung befindet sich der Ursprung von all dem auf den Äckern der Landwirte. Dort wächst jede Kartoffel individuell, angepasst an die Qualitätskriterien des Abnehmers und der dazugehörigen Verwertungsrichtung. So fängt es schon bei den Sorten an, dass nicht jede Kartoffelsorte für jede Verwertungs- und Verarbeitungsrichtung geeignet ist. Dies mag schon banal am Aussehen liegen, ob länglich, oval oder rund. Daneben fällt die Entscheidung aufgrund der Inhaltsstoffe, wie der Art und die Menge an Stärke in jeder einzelnen Knolle.

Ebenso haben Düngung, Pflanzenschutz und die Möglichkeiten der Beregnung einen genau so großen Einfluss auf die Ausprägung der Qualitätskriterien. So können sowohl durch eine falsch terminierte Düngung sämtliche Mühen vorangegangener Arbeit zerstört werden als auch beim Pflanzenschutz. Hier helfen allerdings gut ausgebaute Spritzstrategien und Prognoseverfahren, um den Qualitätskriterien gerecht zu werden. Was aber, wenn der

Landwirt trotz guter fachlicher Praxis in seinem Handeln von außen sanktioniert wird? Sollte er sich den Mühen stellen oder ausweichen? Gibt es vielleicht sogar einen geeigneten Mittelweg?

Der Kartoffelanbau am Standort Mecklenburg-Vorpommern kann besonders durch seine guten Bodenstrukturen und die phytosanitären Bedingungen hervorstechen. Dieser Gunststandort bietet neben den führenden Zuchtunternehmen genügend Aufbereitungs- und Lagerkapazitäten. Dennoch gibt es keinen stark steigenden Trend im Anbau und der Produktion von Kartoffeln zu verzeichnen. Der Grund dafür kann unter anderem in der Art der Bewirtschaftung der Hackfrucht liegen. Sie erfordert durch ihre sehr arbeitsintensive Bewirtschaftung sowohl einen sehr hohen personellen als auch einen hohen technischen Aufwand. Zudem bringt der Kartoffelanbau einen sehr hohen Kapitalbedarf mit sich. Dieser beinhaltet vor allem einen starken Kapitalvorschuss und einen schwächeren Kapitalrückfluss. Das geht vor allem zu Lasten der Liquidität eines Unternehmens. Allerdings können hier mögliche Negativeffekte über Langzeitlagerungen abgefangen werden. Inwieweit dies für jedes Unternehmen sinnvoll ist, muss im Einzelfall entschieden werden und hängt stark von der Art und dem Zustand der Lagerkapazität ab (Schindler, 2011).

1.1. Zielsetzung

In dieser Arbeit soll es nicht um den Anbau von Speisekartoffeln gehen. Sie unterliegen starken Marktpreisschwankungen und sind in ihrer Menge nicht bereits vor dem Anbau vertraglich festgelegt. Deshalb soll vor allem der Anbau von Vermehrungskartoffeln im Mittelpunkt stehen. Es soll erforscht werden, inwieweit die vom Züchter festgelegten Preise kostendeckend sein können, oder wo es mögliche Stellschrauben zur effizienten Pflanzkartoffelproduktion gibt. Gerade jetzt, in einer Zeit der zwangsweisen Umstellung des Produktionssystems, ist diese Frage aktueller denn je.

Die Umstellung rührt daher, dass die Kartoffelzüchter nun vermehrt Wert auf eine Anbaupause von 4 Jahren legen. Viele Betriebe bedienen sich bereits einer 4-jährigen Anbaupause in Pflanzkartoffeln, einige andere müssen sich erst noch umstellen. Jedoch steht jeder Betrieb individuell, unter der Maßgabe seines eigenen Produktionssystems, in der Pflicht zu überprüfen, inwieweit eine Anbaupause von 4 Jahren stemmbar ist und welche Konsequenzen dabei auf die Betriebe zukommen. In dieser Arbeit soll genau der Punkt der Konsequenz näher erforscht werden. Hierfür wird ein real existierender Betrieb zur Hilfe genommen und anhand dessen Produktionssystems auf mögliche Folgen einer Umstellung überprüft.

Die Kernfrage dieser Arbeit lautet also, ob die ökonomische Lukrativität des Vermehrungskartoffelanbaus nach Umstellung der Fruchtfolge, gemäß einer Anbaupause von

4 Jahren, gesteigert werden kann. Zudem wird überprüft, ob sich durch die Umstellung die betriebseigenen Humusbilanzen verbessern können. Außerdem wird untersucht, ob eine CO₂-Neutralität durch die Umstellung auf eine Anbaupause von 4 Jahren erreicht werden kann.

1.2. Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit besteht aus insgesamt 8 Kapiteln, die sich mit der Herkunft und der Bedeutung der Kartoffel generell, mit den Grundlagen der CO₂- und Humusbilanzierung, mit der Analyse des Beispielbetriebs und der angebauten Kulturen, sowie mit der Analyse und dem Vergleich der Fruchtfolgen beschäftigen.

Nach der Einleitung und der Datengrundlage sowie dem Methodikteil fängt die Arbeit in Kapitel 3 bei allgemeinen Fragestellungen, wie der Einordnung in das Pflanzenreich, dem botanischen Hintergrund, der Herkunft der Kartoffel und der Verbreitung der Knolle weltweit, an. Hierzu werden die produzierten Mengen in immer kleiner werdenden territorialen Gegebenheiten betrachtet. Es werden globusweit die Anbauvolumina mit denen von Deutschland und dann spezifischer von Mecklenburg-Vorpommern beschrieben und verglichen. Hinzugezogen werden dabei noch die verschiedenen Produktionsrichtungen, um die Bedeutung der Kartoffel sowohl weltweit als auch regional herauszukehren. Gemündet wird in Kapitel 3.6 mit einer Zusammenfassung der aktuellen Situation des Kartoffelanbaus, wobei auf die Anbauflächenentwicklung und aktuellen Probleme besonders eingegangen wird.

Nachdem die aktuelle Situation im Pflanzkartoffelbereich beschrieben ist, wird die Grundlage der CO₂- und Humusbilanzierung in Kapitel 4 erläutert. Um die Bilanzierung und die Hintergründe besser verstehen zu können, werden Grundsätze des Kyoto-Protokolls und des Pariser Abkommens beschrieben. Ebenso wird auf Lösungsansätze eingegangen, welche durch die Landwirtschaft realisierbar sind. Nach den Erläuterungen der Grundfunktionen des Humus endet die reine Literaturanalyse.

Im Kapitel 5 wird der Beispielbetrieb in seine Einzelheiten zerlegt, um eine für die Arbeit wichtige allgemeingültige Vergleichsgrundlage zu schaffen. Angefangen von einem kurzen Betriebsspiegel wird hier die wesentliche Ausstattung des Betriebs näher beschrieben. Dabei wird auch auf Besonderheiten hingewiesen, die den Betrieb von anderen unterscheidet. Danach werden die Anbauverfahren auf Kulturebene nach ökonomischen und ökologischen Inhalten dargestellt und beschrieben. Jede Kultur erhält ein eigenes Kapitel, in welchem die gesamte Deckungsbeitragsrechnung sowie der Dünger- und Pflanzenschutz Aufwand näher deklariert werden. Ebenso wird das generelle Anbauverfahren der jeweiligen Kultur näher beschrieben und auf Besonderheiten eingegangen. Im Kapitel 5 wird in Unterpunkt 5.3. die

Analyse der Fruchtfolgen durchgeführt, wobei die unterschiedlichen Kulturen in Bezug zueinander gesetzt werden. Da es verschiedene Fruchtfolgen auf dem Betrieb gibt, soll hierbei nur die der Pflanzkartoffel näher untersucht werden. Neben dem Status quo werden auch verschiedene Szenarien dargestellt und analysiert, um eine Vergleichsmöglichkeit, basierend auf Betriebsdaten, zu schaffen. Jedes Szenarium erhält dazu ein eigenes Unterkapitel. Der Aufbau der Unterkapitel von Kapitel 5.3. wird in dieser Reihenfolge behandelt:

- 5.3.1. Status quo: 3-jährige Anbaupause
- 5.3.2. Betriebseigene Umstellung auf 4 Jahre Anbaupause
- 5.3.3. Szenario 1: Umstellung auf 4 Jahre Anbaupause und maximalem Humusaufbau
- 5.3.4.1. Szenario 2: Betriebseigene Anbaupause mit CO₂-freien Vorleistungen
- 5.3.4.2. Szenario 3: 4-jährige Anbaupause mit maximalem Humusaufbau
- 5.3.5. Szenario 4: Einfluss von einer CO₂-Steuer auf die Deckungsbeiträge von Status quo, ökonomisch ausgerichtet (betriebseigenen 4 Jahre Anbaupause) und ökologisch ausgerichtet (4 Jahre Anbaupause mit maximalem Humusaufbau)

Die Beschreibung der Szenarien mündet dann in Kapitel 6, der Zusammenführung und Analyse der Fruchtfolgeumstellungen. Es wird in zwei Themengebiete unterteilt. Das erste beschäftigt sich mit der ökonomischen Betrachtung. Es werden die Fruchtfolgen in Bezug zueinander gesetzt, um mittels fester Parameter einen allgemeinen Bewertungsmaßstab zu erzielen. Es wird untersucht, welche Fruchtfolgen die höchsten Erlöse und Deckungsbeiträge erbringen, und ob es Kausalitäten zwischen diesen Erfolgsgrößen gibt.

Im zweiten Themenschwerpunkt wird die ökologische Betrachtung hinzugezogen. Hierbei werden die Fruchtfolgen auf ihren CO₂-Fußabdruck, die Treibhausgasemissionen und ihre Humusbilanzen untersucht. Ebenso wird geprüft, ob es zu einer Treibhausgasneutralität kommen kann, welche mögliche Fruchtfolge zur nachhaltigen Bodennutzung bei Pflanzkartoffeln infrage kommt und deren Vergleich zu anderen aus ökologischer Sicht.

Gerade der Auf- und Abbau von Humus ist in der heutigen Zeit von wesentlicher Bedeutung, da der Boden durch die auferlegten Restriktionen und ein sich veränderndes Klima leistungsfähiger gemacht werden muss. So ist es essenziell, dass der Boden Stickstoff aus dem Humus für die Kulturpflanze freigibt, andererseits aber auch notwendiges Wasser lange Zeit speichern kann. Für den Beispielbetrieb sind das die wichtigen Inhalte. Die Flächen sind vor allem von schwachlehmigem Sand geprägt. Fast die gesamte Betriebsfläche ist als sogenanntes „rotes Gebiet“ durch den Bund deklariert worden, wodurch ein genereller Abschlag auf die Stickstoffdüngung anfällt.

In Punkt 6.4. wird ein Exkurs in den Zertifikathandel unternommen. Hier wird der Handel zusammengefasst und kurz erklärt. Ebenso wird analysiert, welche monetären Möglichkeiten

durch den Handel mit Zertifikaten im Hinblick auf die ökonomische Betrachtung der ökologischen Fruchtfolge infrage kommen.

Als vorletzter Punkt steht die Diskussion. Hier werden die Ergebnisse zusammengefasst und interpretiert. Auch wird auf eine mögliche Beschränkung der Forschung eingegangen, um aufzuzeigen, wo diese stattgefunden hat, und es wird eine Empfehlung für weitere Forschungen ausgesprochen.

Abgeschlossen wird die Arbeit durch ein Fazit. Die wesentlichen Ergebnisse werden noch einmal zusammengefasst und die Forschungsfrage wird beantwortet. Hier gibt es einen Ausblick auf mögliche anschließende Forschungen in dem Themengebiet zusammen mit einer Einordnung in den aktuellen Forschungsstand.

2. Datengrundlage und Methodik

In dieser Arbeit wird eine induktive Methode angewandt. So wird die eigens herausgestellte Fragestellung aus der eigenen Forschung abgeleitet und überprüft.

Die Datengrundlage für diese Arbeit ist ein real existierender Betrieb. Dieser liefert die Fakten zu den aktuellen Anbauverhältnissen, der vorherrschenden Betriebsstruktur und den Arbeitsabläufen. Diese Daten werden aus der Ackerschlagkartei bezogen. Außerdem werden Vertragsgegenstände und aktuelle Abrechnungen mit den Zuchtunternehmen herangezogen, um einen kompletten Berechnungsdatensatz selbstständig erstellen zu können. Dieser ist für die Anfertigung einer Deckungsbeitragsanalyse für Vermehrungskartoffeln wichtig. Aufgrund der Vielzahl an Züchtern ist mit einem hohen Aufkommen an unterschiedlichen Abrechnungsmodellen zu rechnen. Ebenso findet eine Gewichtung der Bepreisung der Eigenentnahmen und dem Verkauf statt, so dass es im Ergebnis zu einem allgemeingültigen Verkaufspreis und Saatgutpreis kommt. Gleiches geschieht in abgewandelter Methodik bei der Berechnung des Deckungsbeitrags für alle anderen Kulturen, da hier in der Regel nur ein Züchter je Kultur vorhanden ist. Außerdem wird auf vorhandene Bachelorarbeiten und Masterarbeiten der Hochschule Neubrandenburg zurückgegriffen, da diese eine gewisse Datengrundlage für Berechnungsmethodiken im Bereich der Treibhausgasbilanzierung bereithalten. Zudem kommt noch die Literaturrecherche aus Fachliteratur und Lehrbüchern zum Tragen. Die Forschung erfolgt quantitativ mittels Datenanalyse der betriebsinternen Daten für das Erntejahr 2022. Es wurden Datenbanken und Literatur analysiert, um Kennzahlen für die ökologische und ökonomische Grundlage dieser Arbeit herauszufinden. Um einen Überblick über die theoretischen Grundlagen des Kartoffelanbaus und Humus zu gewinnen, wurde mithilfe der hochschulbibliotheksinternen Datenbank nach Büchern und Fachzeitschriften gesucht. Auch wurde in Google Scholar nach aktuellen Journalartikeln und Textausschnitten zu den Themen recherchiert. Weiterführend kam für statistische Auswertungen rund um den Kartoffelanbau FAOSTAT infrage. Für anbaurelevante Daten wurde die betriebsinterne Ackerschlagkartei genutzt.

Als Erläuterung für die Auswahl der Daten aus dem Jahr 2022 ist zu sagen, dass nur aus diesem Jahr die betriebsinternen Daten genommen werden können, da sie den aktuellen und im vollen Umfang darstellbaren Stand widerspiegeln. Daten aus 2023 sind zum Zeitpunkt des Schreibens dieser Arbeit bereits vorhanden, aber nicht vollumfänglich, so dass wiederum auf Daten aus dem Jahr 2022 zurückgegriffen werden muss. Durch stark schwankende Preise und Erlöse zwischen den beiden Jahren kann im Ergebnis nicht mehr der reale Stand wiedergegeben werden.

Die erhaltenen Daten wurden mit dem Programm Excel dargestellt und nach eigenen Kriterien, wie zum Beispiel der Höhe des Deckungsbeitrags, CO₂-Äquivalente und Humusbilanzen, aufbereitet.

Der Treibhausgasausstoß wird errechnet, indem die direkten und indirekten Treibhausgasemissionen aus dem Feld mit den vorgelagerten Treibhausgasemissionen aus dem Betriebsmitteleinsatz summiert werden. Dabei wird eine sogenannte Treibhausgasgutschrift für die Nebenernteprodukte abgezogen. Im Bereich der Treibhausgasemissionen aus dem Feld werden Werte für den Humusabbau, der Grünlandumwandlung sowie die NH₃-Verluste aus der Düngung und der Bewirtschaftung organischer Böden herangezogen. Werte für den Betriebsmitteleinsatz stammen dabei aus dem Pflanzenschutzmitteleinsatz, dem Saatguteinsatz, der Maschinenherstellung und der Energiebereitstellung.

Der CO₂-Fußabdruck errechnet sich dazu noch mithilfe der anfallenden Trockenmasse des Erntegutes.

In den Abbildungen und Tabellen im Ergebnis werden zur Vergleichbarkeit mit anderen Kulturen unter anderem der variable Erlös je Hektar, variable Kosten, Zeitbedarf, Lohnkosten, Deckungsbeitrag, Summe der Treibhausgase, CO₂-Fußabdruck, Humus und CO₂-Betrag aufgeführt.

Der Punkt CO₂-Betrag dient hierbei der Versinnbildlichung, dass je nach Steueransatz auf jede Tonne CO₂e ein gewisser Betrag entfällt, welcher aufsummiert dort wiederzufinden ist. Je nach Bewirtschaftung sind positive als auch negative Werte zu erwarten. In jedem Fall ist der entstandene Wert auf den Deckungsbeitrag anzurechnen.

Die Ergebnisse der Fruchtfolgenanalysen werden neben grafischer Darstellung auch über Korrelationsanalysen auf einen Zusammenhang geprüft. Womit eine Verbindung der überprüften Daten sowohl optisch als auch rechnerisch gegeben ist.

Außerdem ist die Forschung valide, da immer der gleiche Auszug aus demselben Erntejahr der Ackerschlagkartei verwendet wird. Zudem wurde vor der Nutzung der Kartei die Reliabilität der Kartei kontrolliert, in dem die Lieferscheine, Rechnungen und Gutschriften im Vorfeld auf Gleichheit mit den Werten in der Ackerschlagkartei überprüft wurden. Das macht die Arbeit auch objektiv, da die Werte nicht erdacht oder nach eigenem Ermessen bestimmt werden, sondern aus Lieferscheinen, Rechnungen und Gutschriften stammen. Nicht nachweisbare Werte sind durch standardisierte Werte aus bestehender Fachliteratur übernommen und übertragen worden. Dennoch wurde vorwiegend auf standardisierte Werte verzichtet, da diese nichts mit der individuellen Gestaltung des Betriebs zu tun haben.

3. Herkunft und Bedeutung der Kartoffel

„Die Kartoffel steht weltweit von der Anbaufläche her an zehnter Stelle der wichtigsten Kulturpflanzen“ (Miedaner, 2014). Doch wo kam sie her und viel wichtiger, was war die Geschichte der Kartoffel auf ihrem Feldzug in die Küchen und Fabriken dieser Welt. In diesem Kapitel soll es daher vornehmlich um die Geschichte und die damit verbundene Bedeutung der Kartoffel gehen. Angefangen wird dabei mit der Einordnung in das Pflanzenreich, dann der historische Aspekt mit ihrer Entwicklungsgeschichte und abschließend behandelt dieses Kapitel die Bedeutung explizit in Deutschland.

3.1. Einordnung in das Pflanzenreich

Solanum tuberosum ist der lateinische Begriff für die Kartoffel. Die knollenbildende Pflanze gehört zu der Familie der Nachtschattengewächse (*Solanaceae*). Damit besteht eine direkte Verwandtschaft mit der Tomate, der Paprika, der Aubergine und dem Tabak (Miedaner, 2014).

Die Pflanze in ihrer heutigen Kulturform so wie wir sie kennen, geht auf die beiden tetraploiden Wildarten *S. andigenum* und *S. tuberosum* zurück (Entrup & Schäfer, 2011).

Andere Quellen belegen wiederum, dass die Kartoffel sogar die komplizierteste Abstammung unter allen Nutzpflanzen aufweist. Diese Unsicherheit der Herkunft beginnt bei der Taxonomie, wobei heute ungefähr 200 knollentragende Kartoffelarten (Sektion *Petota*) bekannt sind, die nah miteinander verwandt sind und spontan fruchtbare Nachkommen bilden können. Das Problem der eindeutigen Klassifizierung wird besonders nach einem kurzen Einblick in die Geschichte der Kartoffel deutlich. So haben indianische Völker Südamerikas nicht auf die Reinheit ihrer Kartoffel geachtet, woraus Kreuzungen innerhalb und zwischen den Arten resultieren. Erschwerend hinzu kommt, dass die Kartoffel sich sowohl vegetativ als auch generativ vermehren lässt (Miedaner, 2014).

Dabei sind viele Kartoffelarten selbst Fremdbefruchter, wodurch die Kreuzung verschiedener Arten gefördert wird. Hierbei können sie sich erneut vegetativ fortpflanzen, „so dass sich auch sterile Kreuzungsprodukte mit einer ungeraden Zahl an Chromosomensätzen über die Knollen weiter vermehren können“ (Miedaner, 2014).

Um resistenteren Arten zu züchten oder besondere Qualitätseigenschaften zu erzeugen, bleibt es bisweilen aber nicht bei den beiden Urstämmen. Mittlerweile werden immer mehr Wildarten eingekreuzt, um die genetische Vielfalt zu erhöhen (Entrup & Schäfer, 2011).

Dennoch sind nicht mehr als 10% der wilden Kartoffelarten in die Kartoffelzucht eingegangen. So sind moderne Kartoffelsorten das Ergebnis eines aufwendigen Zuchtverfahrens, welches Keimplasma von der sogenannten Landrasse der *S. tuberosum* und 15 wilden Arten der Sektion *Petota* enthält (Ovchinnikova, et al., 2011).

„Only old potato varieties that were bred before the 1930s could be considered within the botanical species, *S. tuberosum*, in the context of this article. After this time, crosses with closely related wild species and more distantly related species, such as *S. stoloniferum* Schltdl., were widely used to breed new potato cultivars. Therefore, modern varieties have a clear hybrid (interspecific) nature“¹ (Ovchinnikova, et al., 2011). Daher ist eine einfache Rückverfolgung zu den Ursprüngen der Kartoffel nicht mehr so einfach möglich.

Trotzdem ist die Chromosomengrundzahl bei allen Kartoffelarten gleich. Sie liegt bei $n=12$. Lediglich die Anzahl an Ploidstufen ist unterschiedlich. Üblicherweise sind diploide ($2n = 3x = 24$) und tetraploide ($2n = 4x = 48$) vorherrschend. Dennoch sind auch triploide ($2n = 3x = 36$) und pentaploide ($2n = 5x = 60$) Arten vertreten. Die heutzutage weltweit angebaute Form der Kartoffel ist die tetraploide Form (Spooner, McLean, Ramsey, Waugh, & Bryan, 2005).

Hierbei kann keine Unterscheidung der 4 Genome vorgenommen werden (Genomkürzel: AAAA) (Miedaner, 2014).

3.2. Botanik der Kartoffel

Die Kartoffel ist eine Staudenpflanze, welche über ein oberirdisches Sprosssystem verfügt. Dieses Sprosssystem kann eine Höhe von bis zu einem Meter erreichen. Die Neigung zur Anlage einer Blüte und zur Blütenfarbe ist sortenabhängig.

Unterirdisch werden nur blattlose Erdtriebe gebildet. Diese Stolonen lassen durch parenchymatisches Dickenwachstum die Knollen am Ende eines jeden Stolon entstehen. Da die Knolle über eine offene Gefäßverbindung mit den Stolonen verbunden ist, besteht hier eine hohe Infektionsgefahr aus den oberirdischen Pflanzenteilen. Die Epidermis der jungen Knollen wird im Laufe der Alterung der Knolle durch ein ledriges Periderm ersetzt. Gelegentlich können Verkorkungen an den Knollen festgestellt werden. Die Schlussfolgerung daraus ist, dass die Knolle eine Verletzung erlitten hat und darauf mit dem Schließen der Verletzung durch eine Korkschicht reagiert (Entrup & Schäfer, 2011).

Bezugnehmend zum Ernteprodukt, der Knolle, sei hier die Keimruhe zu erwähnen. Die Intensität und Dauer ist hierbei sortenspezifisch. Generell gilt, sie verringert sich mit zunehmendem Alter der Knolle ab dem Zeitpunkt der Ernte. Faktoren, die ebenso auf die Keimruhe einwirken, sind die Temperatur, die Erschütterung und Bewegung der Knolle. Temperaturen über 4°C sowie ständiges Bewegen und Erschüttern wirken verkürzend auf die Keimruhe. Es ist möglich, die Keimruhe mittels chemischer Präparate zu verstärken. Allerdings

¹ Übersetzung: Im Rahmen dieses Artikels können nur alte Kartoffelsorten, die vor den 1930er Jahren gezüchtet wurden, als Teil der botanischen Art *S. tuberosum* betrachtet werden. Nach dieser Zeit wurden in großem Umfang Kreuzungen mit eng verwandten Wildarten und weiter entfernten Arten wie *S. stoloniferum* Schltdl. zur Züchtung neuer Kartoffelsorten verwendet. Die modernen Sorten sind daher eindeutig Hybride (interspezifisch). (Übersetzt mit www.DeepL.com/Translator)

drängen auch ökologische Alternativen auf den Markt. So ist ein Konkurrent der klassischen Maleinsäure oder dem 1,4-Dimethylnaphthalin das Grüne-Minze-Öl. Letzteres kann auch im ökologischen Landbau eingesetzt werden und wirkt so, dass es die Keime vertrocknen lässt, welche dann bei der Bewegung der Knolle von allein abfallen (Diepenbrock, Ellmer, & Leon, 2016).

Wie die Blütenbildung und die Ausbildung oberirdischer Pflanzenteile suggerieren lassen, ist die Kartoffel eine Langtagspflanze. Hierbei fördert der Langtagabschnitt auch das Knollenwachstum. Der Kurztag fördert die Knollenanlage. In der Beziehung zwischen der Knollenbildung und der Photoperiode kommt es aufgrund der genetischen Variabilität zu Unterschieden zwischen den Reifegruppen (Entrup & Schäfer, 2011).

Bei sehr frühen Sorten ist die Abhängigkeit an die Tageslichtlänge sehr abgeschwächt (Diepenbrock, Ellmer, & Leon, 2016).

Generell gilt, dass „[D]urch das Vorkeimen die Knollenbildungsphase um einige Tage nach vorne verlegt werden“ (Entrup & Schäfer, 2011) kann.

Um eine optimal vorgekeimte Kartoffel gewährleisten zu können, ist es ratsam, die Kartoffeln drei bis vier Wochen vor dem Legen zu erwärmen. Die Temperatur sollte langsam auf 12 bis 14 Grad Celsius erhöht werden. Dabei kommen die Knollen in Keimstimmung und fangen mit der Produktion von Keimen an. Keimgestimmte Knollen sind zu erkennen an den etwa zwei bis drei Millimeter langen Keimen. Bei vorgekeimten Kartoffeln dürfen diese nicht länger als zwei bis drei Zentimeter lang sein. Die Keime entstammen aus den sogenannten Augen der Kartoffel. Hierbei entstehen drei bis acht Sprossachsen aus den Augen der Kartoffel. Jede Sprossachse bringt zwei bis fünf Knollen hervor (Diepenbrock, Ellmer, & Leon, 2016). Eine optimale Temperatur für die Knollenausbildung liegt bei 15-20°C. Das Temperaturminimum für die Zeit von der Keimung bis zum Feldaufgang liegt bei 8-10°C.

„Es besteht eine positive Korrelation zwischen der Anzahl der Einzeltriebe der Staude und der Anzahl der von der Staude gebildeten Knollen“ (Entrup & Schäfer, 2011). So nimmt das Einzelgewicht jeder gebildeten Knolle mit steigender Gesamtknollenanzahl je Staude ab (Diepenbrock, Ellmer, & Leon, 2016). Dieser Punkt wird in der nachfolgenden Tabelle 1 näher beschrieben.

Ausgangsvariable	Variante 1	Variante 2
Knollengröße des Pflanzguts	groß	klein
Triebe je Staude	mehr	weniger
Knollenansatz je Staude	hoch	gering
Knollenansatz je Trieb	gering	hoch
Gesamt:	kleiner und ungleichmäßiger sortiert	größer und gleichmäßiger sortiert

Tabelle 1: Zusammenhänge zwischen der Pflanzgutgröße und der Erntemenge
Quelle: Entrup & Schäfer, 2011, eigene Darstellung

Die Tabelle vergleicht zwei Varianten miteinander und zeigt deren Einfluss auf die Erntemenge. So geht Variante 1 von der Ausgangsvariable der großen Knollengröße des Pflanzguts aus, währenddessen Variante 2 von klein ausfallendem Pflanzgut ausgeht. Diese Ausgangsvariablen werden auf die Vegetationszeit der Kartoffel heruntergebrochen. Das Ergebnis dessen ist, dass in Variante 1 mit einer großen Ausgangsknolle mehr Triebe, ein hoher Knollenansatz je Staude und ein geringer Knollensatz je Trieb generiert wird. Das Resultat sind kleinere und ungleichmäßigere Erntegüter. In Variante 2 wird mit einer kleinen Knolle gestartet, wodurch weniger Triebe je Staude, eine geringere Knollenzahl je Staude, aber ein hoher Knollenansatz je Trieb generiert wird. Resultierend daraus werden größere und gleichmäßig ausfallende Kartoffeln geerntet.

Davon abgeleitet, spiegelt die dargestellte Tabelle das Prinzip hinter dem Produktionsverfahren des Pflanzkartoffelanbaus wider. So kommt es nicht auf besonders große oder schwere Kartoffeln an, sondern auf das richtige Sortierfenster, um bei einem erneuten Auspflanzen der geernteten Mengen einen möglichst hohen Ernteertrag zu generieren. Einige Anbauer im Wirtschaftskartoffelbereich setzen vor allem auf Untergrößen (28mm-35mm). Hierbei wird so vorgegangen, dass durch den Einsatz besonders kleiner Pflanzware ein Ernteertrag von wenigen besonders großen Knollen erreicht wird. Um einen Mittelweg zwischen wenigen großen und vielen kleinen Kartoffeln im Ernteprodukt zu finden, gibt es im Pflanzkartoffelanbau die Normalsortierung (35mm-55mm). Diese generiert im Ernteprodukt eine gewisse Regelmäßigkeit, was die Ansprüche an eine hohe Anzahl und einen großen Durchmesser wiedergibt.

Das Ende des Knollenansatzes ist hier bereits zur Blüte, teilweise sogar schon früher terminiert. Nicht alle angelegten Knollen werden voll ausgebildet. Einige werden durch Trockenheit oder Nässe wieder resorbiert. Auch kann es zu dem sogenannten Nachsetzen kommen. Hierbei ist der Zeitraum im Übergang von Trockenheit zu ausreichender Feuchte zu betrachten, denn das kann zu Zwiewuchs und Kindelbildung führen. Zudem wird der

Durchwuchs gefördert.

Zuerst angelegte Knollen haben einen deutlichen Vorsprung in Bezug zum täglichen Zuwachs und verglichen mit den restlichen Knollen einer Staude. Dieser Vorsprung wird auch bis zum Absterben der Pflanze erhalten bleiben (Putz, Kartoffeln: Züchtung - Anbau - Verwertung, 1989).

Nicht nur, dass die erstgebildeten Knollen einen Vorsprung im täglichen Zuwachs haben, auch können nur Knollen, die in einem Zeitraum von zwei bis drei Wochen nach Beginn der Knollenbildung angelegt worden sind, noch zu einer ausreichenden Größe heranwachsen. Danach gebildete Knollen können resorbiert werden oder bleiben klein (Entrup & Schäfer, 2011). Außerdem „resultiert daraus, dass bei nicht voll ausgereiften Stauden immer Knollen mit unterschiedlicher physiologischer Reife zu finden sind“ (Putz, Kartoffel-Lexikon, 1999).

Vor dem Sprosswachstum setzt das Wurzelwachstum ein. So entwickeln sich Blatt- und Stängelmasse sowie die Stolonen. Die Stolonen beenden zum Zeitpunkt der Blüte ihr Längenwachstum und es bilden sich an deren Enden Verdickungen. Diese Verdickungen wachsen zu den Knollen heran, die dann geerntet werden (Entrup & Schäfer, 2011).

Zum Zeitpunkt der Blüte ist die Anzahl bereits festgelegt und ab nun beginnt die generative Phase der Entwicklung. Eingeleitet wird dies durch das Wachstum der Knollen im Boden. Das Wachstum besteht aus einer Volumenzunahme des Gewebes. Danach erst erfolgt die Synthese von Stärke und das Einlagern von Assimilaten. Resultierend daraus haben Kartoffeln mit kurzer Vegetationszeit meist nur einen geringeren Stärkegehalt, da sie weniger Zeit zur Stärkesynthese haben. Der höchste Reifegrad ist dann erreicht, wenn die Knollen sich von den Stolonen lösen (Entrup & Schäfer, 2011).

Um die Wachstumsphasen der Kartoffel genau ansprechen zu können, gibt es, wie in jeder anderen Kultur auch, eine Klassifizierung nach einer BBCH-Skala. Sie ist nachfolgend abgebildet und besteht aus 6 Hauptstadien. Diese sind chronologisch sortiert vom Auspflanzen bis Ernten über Keimung, Auflaufen, Knollenbildung, Blüte, Knollenausbildung und Abreife (Putz, Kartoffeln: Züchtung - Anbau - Verwertung, 1989).

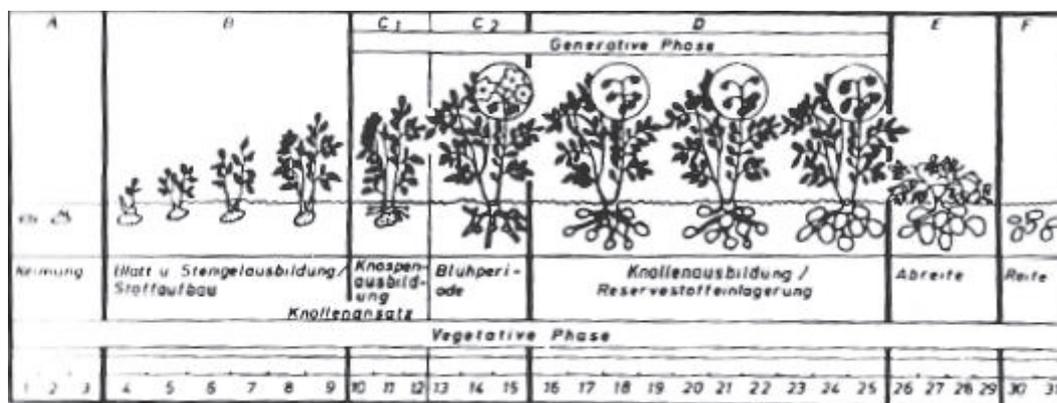


Abbildung 1: Entwicklungsphasen der Kartoffelpflanze
Quelle: Putz, Kartoffeln: Züchtung - Anbau - Verwertung, 1989

Außerdem kann auf der Abbildung die Einteilung in die vegetative und die generative Phase nachvollzogen werden.

3.3. Historische Entwicklung des Kartoffelanbaus

Die Kartoffel stammt in ihrer ursprünglichen Variation aus Südamerika, aus der höher gelegenen nördlichen Andenregion Perus, Kolumbiens und Venezuelas. Dieses Gebiet erstreckt sich bis in die wärmeren Regionen Süd- und Mittelchiles. So gibt es Überlieferungen, dass die indigenen Völker auf der Insel Chiloe die Kartoffel bereits als Grundnahrungsmittel weit vor der Zeitenwende kultiviert haben sollen. Das entspricht etwa dem Zeitraum zwischen 8000 und 5000 vor Christus. Es gibt zahlreiche Darstellungen von Kartoffeln auf Gefäßen der Moche-Kultur im nördlichen Peru. Diese stammen aus der Zeit zwischen dem 1. und 8. Jahrhundert nach Christus. Auch auf Töpfen der Inkas im Zeitraum von 650 bis 700 nach Christus wurden Malereien der Knollen gefunden (Miedaner, 2014).

Durch die weitläufige Verbreitung bekam die Kartoffel unterschiedliche Bezeichnungen. Im Hochland von Peru in der Quechua-Sprache wird sie papa (Knolle) genannt. Nach Europa kam die Kartoffel durch die spanischen Eroberer im 16. Jahrhundert. Auch hier war die Namensgebung sehr weitreichend. So wird „[A]b dem 18. Jahrhundert [wird] zwischen der Kartoffel (patata in Spanien und papa in Hispanoamerika) und der Batate (spanisch: batata) unterschieden“ (Schuhmann, 2020). Der englische Begriff ist potato und in Italien wird die Kartoffel aufgrund ihrer Ähnlichkeit zu Trüffeln tarathopholi oder taratoughli genannt. In Frankreich wird die Kartoffel pommes de terre (Erdäpfel) genannt. In Deutschland waren die Begriffe Artoffel oder auch Tartuffeln prägend. Aus dieser Historie hat sich der Begriff der Kartoffel durchgesetzt. Heutzutage wird sie in Teilen der Bundesrepublik noch Erdapfel, Tuffeln, Erdbirne, Töften, Schocken, Mäusle, Nudel oder Grumbeere genannt (Schuhmann, 2020).

Die erwähnte Batate hat dabei weniger etwas mit der heutigen Kartoffel zu tun. Sie gehört eher zu den Süßkartoffeln.

Die Kartoffel kam über den Seeweg von Amerika nach Spanien und wurde dort das erste Mal 1573 urkundlich erwähnt. Von dort aus drängt sie über Italien und Österreich nach Süddeutschland vor. Von Hessen gelangen die Kartoffeln dann nach Sachsen. Britische Seeleute beförderten sie nach Irland und England, wo sie weiter in die Niederlande verschifft worden sind. Zwischen 1590 und 1596 bekam die Kartoffel durch den Basler Botaniker Bauhin ihren lateinischen Namen solanum tuberosum.

1602 wurde die Kartoffel das erste Mal in einem Wittemberger Haushaltsbuch erwähnt (Schuhmann, 2020).

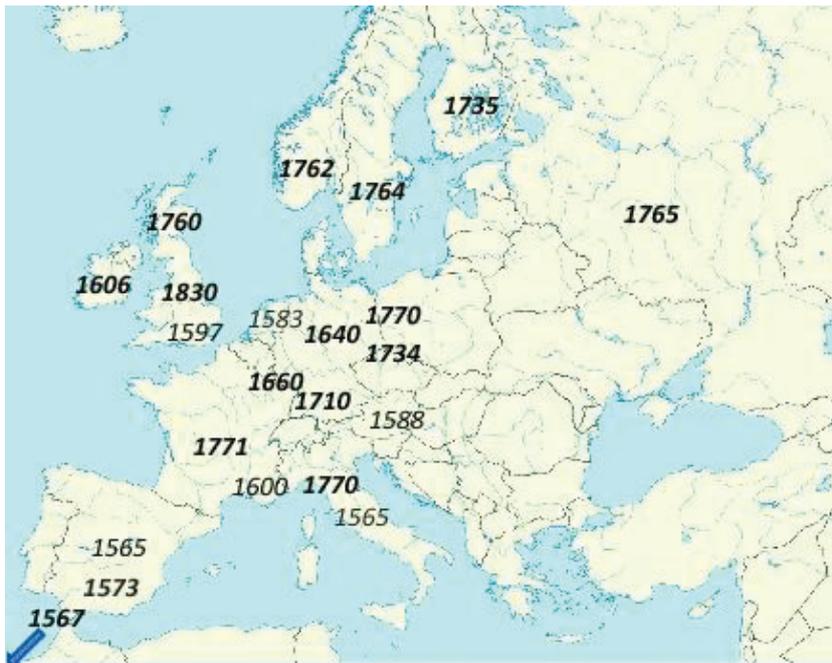


Abbildung 2: Daten zur Einführung der Kartoffeln in Europa (fett dargestellt: Jahr des Feldanbaus)
 Quelle: Miedaner, 2014

Aus der Abbildung 2 werden noch einmal die Verbreitung und wesentliche Daten zur ersten Akzeptanz und zum ersten Feldanbau ersichtlich. So ist deutlich zu erkennen, dass die Kartoffel vor allem über die Seewege verbreitet worden ist. Vor allem in Ländern mit direktem Sezugang gewinnen die Kartoffeln frühzeitig an Bedeutung und werden sehr schnell gehandelt, was die beinahe zeitgleiche Verbreitung an der gesamten Küstenlinie erklärt. Erst danach wurde die Kartoffel auch landeinwärts populär und in den Anbau genommen. Es gilt zu erkennen, dass die Kartoffel im heutigen Spanien zeitnah zur Einfuhr auch in den konventionellen Anbau ging. Dennoch wurde der Anbau besonders durch Hungersnöte stark ausgeprägt (Ames & Spooner, 2008).

Der globale Handel mit der Kartoffel bringt auch seine Schattenseiten mit sich. So werden unerwünschte Schädlinge und Krankheiten verschleppt. Im Kartoffelbereich ist das der Kartoffelkäfer sowie die Kraut- und Knollenfäule. Beide sind ursprünglich aus Amerika gekommen und sind heute im Kartoffelanbau nicht mehr entfernbar.

Die Kartoffel wird in ihrer mitteleuropäischen Anfangszeit mehr als Exot gehandelt, der vor allem bei Botanikern großen Anklang findet und in fürstlichen Gärten angebaut wird. Die Skepsis in der Bevölkerung ist bedingt durch den allgemeinen Glauben, sie würde Lepra verursachen, da zum Zeitpunkt der Einfuhr diese Seuche um sich griff. Ebenso sollte in ihr der Grund für Rachitis und Schwindsucht liegen. In ihrer Anfangszeit diente sie vor allem als Schweinefutter. Nachteilig wirkte sich auch die missverständliche Ausdrucksweise des späteren Direktors des Wiener Botanischen Gartens, Clusius, aus. Dieser betitelte das Nachtschattengewächs als giftig, wobei er aber nicht erwähnte, dass er sich primär auf die

Beeren bezogen hatte und weniger auf das Solanin in den Knollen. Dieses entweicht den Knollen und geht während des Kochens in das Kochwasser über. Ebenso geprägt war die Missgunst gegenüber Kartoffeln durch ihre unzureichende Eigenschaft für das Herstellen von Brot oder Brei. Gleichfalls negativ wirkte sich die damalige Weltanschauung auf den Gebrauch der Kartoffel aus. So wurde sie von den Schotten abgelehnt, da sie in der Bibel keine Erwähnung fand. Auch durch die Schriften des französischen Philosophen Denis Diderot geriet die Kartoffel in Missgunst. Er beschrieb in seiner Enzyklopädie, dass sie nicht für den Genuss geeignet sei, sondern nur für Menschen, die an dem Nährwert interessiert seien. Daher wurde die Kartoffel als Nahrungsmittel nur wahrgenommen, wenn es in Europa zu Nahrungsmittelknappheiten und Hungersnöten kam. Hier spielte sie den Faktor ihrer unterirdisch ausgelegten Knollenanlage aus. Dieser Faktor ermöglichte es, dass sie in Kriegszeiten nicht durch fremde Armeen, wie beispielsweise Getreide, verbrannt werden konnte. Es war ihnen schlicht und ergreifend viel zu mühsam alle Knollen auszugraben, wodurch diese zurückblieben und als Nahrungsmittel für überlebende Menschen diente (Miedaner, 2014).

Neben den gesellschaftlichen Standards gab es auch landwirtschaftliche Hürden zu überwinden. So war das verbreitetste Anbausystem das durch die Römer geprägte 3-Felder-System. Dieses bestand bis zum 18. Jahrhundert. Grundsätze dieses Systems sind, dass im ersten Jahr Winterungen wie Weizen angebaut werden. Im zweiten Jahr wird eine Sommerung im Frühjahr angebaut, oft Bohnen oder Hafer. Im dritten Jahr wird eine Brache betrieben. Vorteil dieses Systems ist, dass bei Misserfolg der Winterung im ersten Jahr durch z.B. zu strengem Winter, im Frühjahr eine Sommerung ausgesät werden kann, um den Misserfolg abzufangen. Die Brache sorgt für eine Erholung des Bodens. Da die Landwirte eines Dorfes zuweilen nur einen Anteil der gesamten Dorffläche zur Verfügung hatten, konnte von diesem System nicht abgewichen werden und war dementsprechend nicht abänderbar. Erst als das Vieh in Ställe gesperrt wurde und somit eine Abkehr von der Gemeinschaftsweide folgte, war eine Eingliederung der Kartoffel in die Fruchtfolge möglich. So entfiel der Teil der Brache, da die Regeneration des Bodens nun über die Düngung mit dem anfallenden Dung aus den Ställen realisiert werden konnte (De Jong, 2016).

Auch gibt es einen Bezug zwischen dem Kartoffelanbau und dem stetigen Wachstum der Bevölkerung. In Irland wird der Kartoffelanbau nach der „lazy bed“-Methode betrieben. Dabei wird ein etwa ein bis zwei Meter breites Stück ungepflühtes Land in der entsprechenden Länge genutzt. Dieses wird mit Mist gedüngt, wobei danach die Saatkartoffeln daraufgelegt werden. Neben diesen Streifen werden Gräben ausgehoben, so dass die Pflanzkartoffel mit Erdsoden, sogenannten turves, bedeckt ist. Sobald die ersten Sprossen durch den Boden stoßen, wird ein letztes Mal Erde darauf gehäuft. Mehr wird bis zur Ernte nicht getan. Dieser vergleichsweise einfache Anbau und die wertvollen Inhaltsstoffe der Kartoffel in ausgewogener

Zusammensetzung führen zu einem Ausbau der Anbaufläche in Irland. „1814 wurden Kartoffeln auf etwa 80.000 ha und 22 Jahre später auf dem Doppelten der Ackerfläche angebaut“ (Miedaner, 2014). Zeitgleich stieg die Zahl der Bevölkerung um mehr als das Doppelte. So wird ein Zuwachs von 3,6 Mio. auf 8,2 Mio. Menschen verzeichnet. Zu der Zeit erlebt die Bevölkerungsdichte in Irland ein Allzeithoch, welches noch höher als das des jetzigen Chinas ist. 1780 liegt der Durchschnittsertrag von Kartoffeln in Irland bei 160 dt/ha. Im Vergleich zum dort angebauten Weizen ist dies mehr als zehnmal so viel. Der Weizen erreicht Erträge von bis zu 13 dt/ha. Um diese Kartoffelerträge erreichen zu können, werden 90 % des gesamtanfallenden Dungs in die Kartoffeln gesteckt.

Nachteilig an dem leichten Anbau und den guten Inhaltsstoffen ist eine Abhängigkeit von den stets hohen Erträgen. Zudem ist die Ernährung zu der Zeit zu abwechslungslos, gerade in ärmeren Familien.

Der Aufschwung Irlands wird durch eine enorme Hungersnot gestoppt. Aufgrund der in Irland vorwiegend kargen Böden ist Getreide als Substitutionsgut nicht möglich, um den gesamten Schaden abfangen zu können. Es kommt in der Zeit von 1845 bis 1849 zu Missernten in Roggen und einem Ausfall der Kartoffelernte. Es sterben über eine Million Menschen, weitere 1,5 Millionen Menschen emigrieren. Diese finden meistens ihr Glück in den noch jungen Vereinigten Staaten.

Besondere Fortschritte in der Erntemenge und somit in der Bevölkerungsentwicklung kommen als Justus von Liebig 1840 erkennt, dass sich Guano, wegen seiner Beschaffenheit, besonders gut als Dünger für Kartoffeln eignet. Die Nahrungsmittelproduktion in Europa verdoppelt sich aufgrund dessen in dieser Zeit (Miedaner, 2014).

<u>v. Chr.</u>		
5000	Kultivierung der Kartoffel im Bereich des Titicacasees/Südamerika	
<u>n. Chr.</u>		
16. Jh.	Kartoffeln aus Peru und Chile nach Europa	
17. Jh.	Kartoffel als Zierpflanze in Mitteleuropa; Anbau in Irland, Großbritannien	
18. Jh.	Verteilung von Saatkartoffeln in Preußen; „Kartoffelbefehle“ zum Anbau	
1845-50	Hungersnöte in Irland wegen Kartoffelkrankheit; Missernten in Westeuropa	
1877	Einwanderung des Kartoffelkäfers; Gründung eines „Abwehrdienstes“	
1900	Verzehr von über 250 Kilo Kartoffeln pro Kopf im Deutschen Reich	
1989	Erste Freisetzungsversuche mit gentechnisch veränderten Kartoffeln	
2011	Kartoffelgenom fast vollständig sequenziert, ca. 39.000 Gene	
2013	80% der Kartoffelsorten mit Resistenzen gegen Virus- und Pilzkrankheiten sowie Schädlinge	

Abbildung 3: Zeittafel der Kartoffel

Quelle: Miedaner, 2014, von <http://www.pflanzenforschung.de/>

Auf der vorangegangenen Abbildung 3 sind die wesentlichen Entwicklungsschritte der Kartoffel von 5000 v. Chr. bis 2013 n. Chr. zusammengefasst wiedergegeben.

So zeigt die Abbildung zusätzlich, dass im Jahr 1900 im Deutschen Reich 250 Kilogramm Kartoffeln pro Kopf verzehrt werden und das neue Sorten bereits eine Vielzahl an Resistenzen besitzen. Doch wie unterscheidet sich die Nutzungsrichtung von damals zu heute?

3.4. Nutzungsrichtungen

Heutzutage wird die Kartoffel schon lange nicht mehr nur zur Ernährung im klassischen Sinn als gekochtes Gemüse genutzt. Dennoch ist der Kartoffelanbau „nach Reis und Weizen die dritt wichtigste Nahrungspflanze der Welt und das wichtigste Erzeugnis, das nicht auf Getreide basiert“ (van Loon & Hammink, 2013). Das Anbauvolumen und die Beliebtheit in subtropischen und tropischen Ländern hängen vor allem mit der sehr kurzen Vegetationsperiode zusammen. Ordentliche Erträge lassen sich bereits nach 80 bis 100 Tagen erreichen. Zudem kann die Kartoffel in einigen Regionen der Welt als Cash-Crop angesehen werden, da es für verkaufte Ware sehr gute Preise gibt. Im amerikanischen und europäischen Raum wird die Kartoffel weitestgehend als Grundnahrungsmittel angesehen (van Loon & Hammink, 2013).

Die Kartoffel hat einen Wassergehalt von ca. 75%. Damit ist sie ein leicht verderbliches Lebensmittel. Nur mit einer entsprechenden Lagerung kann die gewünschte Qualität gehalten werden. Bereits in der Entwicklungsgeschichte der Kartoffel stehen die Menschen vor dem Problem der Lagerung und der unterschiedlichen Erträge. So nutzen die Indianer in den Anden-Gebieten vor tausenden Jahren die klimatischen Gegebenheiten so aus, dass sie damit ein Trockenkartoffelprodukt herstellten. *Chuno*, so heißt es, kann heutzutage als das erste Kartoffelverarbeitungsprodukt angesehen werden.

Auch viele Jahre später ist dieses Problem aktueller denn je, so dass die königliche Gesellschaft der Wissenschaften in Göttingen um 1758 die Frage nach der Haltbarmachung der Kartoffel aufbringt. Dennoch kommt es erst 1894 durch eine Überproduktion infolge der stetig steigenden Anbauflächen zu der Idee einer industriellen Trocknung. Ein Grund dafür ist die geforderte rationale Verwertung der Übermenge, so dass Stärkefabriken und Brennereien gemeinsam ein Preisausschreiben mit dem Thema: Herstellung von Kartoffeln als Handelsware im Großbetrieb, ausrufen. Erst 1902, im zweiten Anlauf des Ausschreibens, wird dem Preisgericht ein Verfahren vorgestellt, welches auf der Trocknung der Kartoffel beruht, die dann weiter als Futtermittel genutzt wird. Damit lassen sich allerdings vorerst nur kleine Mengen weiterverarbeiten. Richtig Aufwind bekommt das Verfahren während des ersten Weltkriegs, als die Beimischung von Kartoffelmehl in Brot verordnet wird. Ab 1936 wird die Trockenkartoffel als Vorrat für die Wehrmacht genutzt. Allerdings sind die anfänglichen Qualitäten so schlecht, dass Trockenkartoffelprodukte schnell in Verruf geraten. Dies ändert sich erst 1949 mit der Produktion von Kartoffelkloßmehl. Dieses Kloßmehl kann als das erste vom Verbraucher akzeptierte Kartoffelveredelungserzeugnis angesehen werden. Ab 1952 kommen noch Produkte wie Chips, Püree in Flockenform, Pommes frites, Reibekuchen, Knödel und geschälte Kartoffeln in Dosen und Gläsern auf den Markt. Dabei sind die Anforderungen an die Kartoffelverarbeitungsindustrie nicht zurückgegangen. Auch heute ist ihr primäres Ziel bei unterschiedlicher Erntemenge und Qualität aus der landwirtschaftlichen Primärproduktion, gleichbleibend hohe Qualität abliefern zu können (Putz, Kartoffeln: Züchtung - Anbau - Verwertung, 1989).

Hierbei legt die Kartoffelverarbeitung aber auch besonderen Wert auf die Qualität der Ausgangsware. So gibt es Auflagen und Anforderungen an die Anbauer. Beispielsweise sollen für die Produktion von Pommes frites eher Sorten mit länglichen Knollen produziert werden. Ebenso ist ein niedriger Gehalt an reduzierenden Zuckern in der Chips Produktion vorgeschrieben. Diese Ausgangskriterien beeinflussen maßgeblich den Erfolg der Weiterverarbeitung. So können aus länglichen Knollen längere Pommes entstehen und ein niedriger Gehalt an reduzierenden Zuckern ermöglicht es beim Vorgang des Frittierens, dass die fertigen Chips keine dunklen Flecken aufweisen (van Loon & Hammink, 2013).

Dennoch gibt es neben den Verarbeitungskartoffeln noch wesentlich mehr Nutzungsmöglichkeiten der Kartoffeln. In der nachfolgenden Abbildung 4 wird die Wertschöpfungskette der Kartoffel gezeigt.

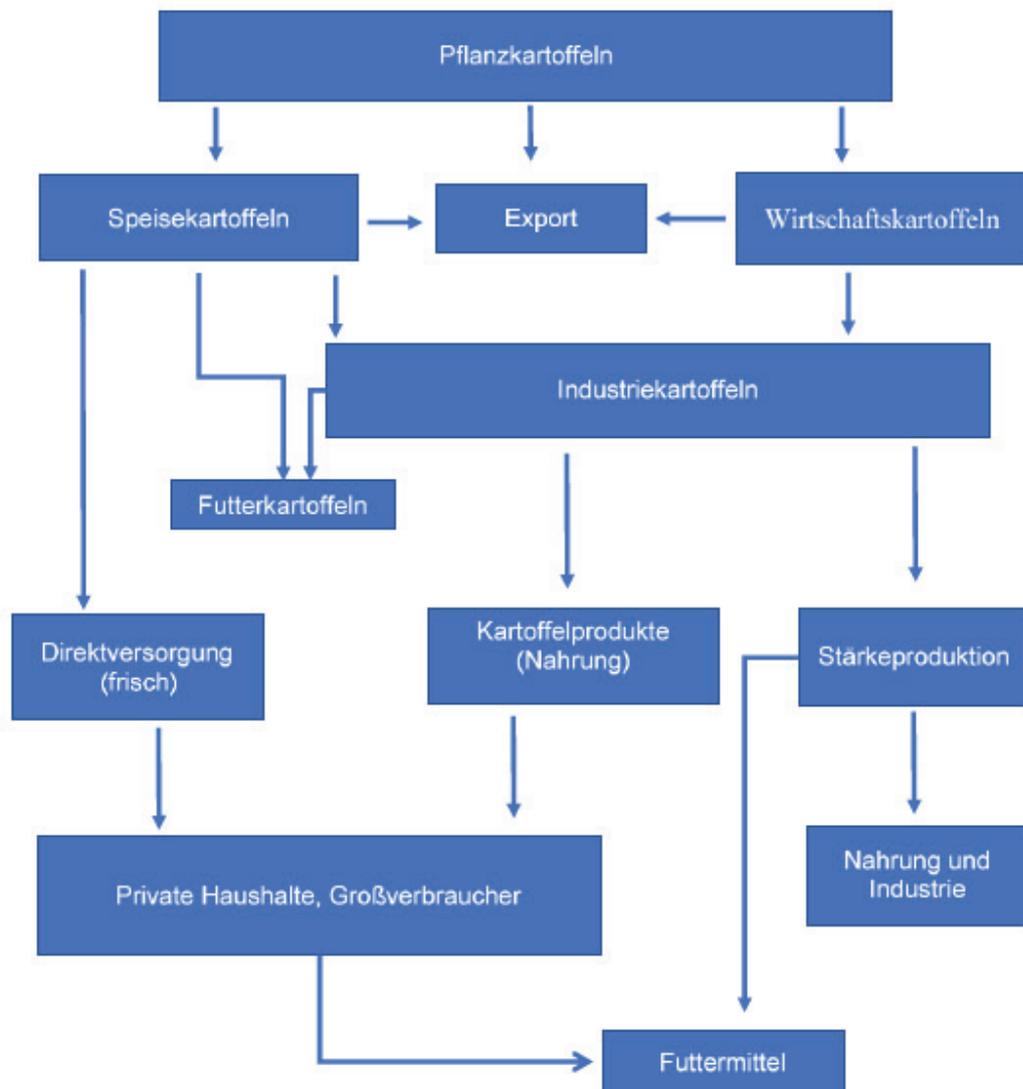


Abbildung 4: Wertschöpfungskette der Kartoffel
Quelle: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 2021

Ausgangspunkt der Wertschöpfung stellt die Pflanzkartoffelproduktion dar. Diese liefert vom Bundessortenamt (BSA) anerkannte und zugelassene Sorten. Hierbei ist darauf zu verweisen, dass nicht nur Interesse an neuen Sorten besteht. 2009 wurde eine Ausnahmeregelung in das deutsche Saatgutrecht eingefügt, welche die Erhaltungszucht alter und regionaler Sorten vereinfachen soll. Aus der Pflanzkartoffel, welche auch direkt in den Export geschickt wird, lassen sich zwei wesentliche Verwendungszwecke erschließen. So sind bereits mit der Sorte die Verwendungszwecke maßgeblich beeinflusst. Speisekartoffeln können in die direkte Vermarktung geschickt werden und landen somit in den privaten Haushalten und bei den Großverbrauchern. Sollte dies aufgrund von äußeren Qualitätskriterien nicht erfolgen, werden Speisekartoffeln, genauso wie Wirtschaftskartoffeln, entweder direkt in den Export geschickt

oder als Industriekartoffeln verarbeitet. Diese Industriekartoffeln werden aufgrund ihrer Eigenschaften zu Futterkartoffeln oder gehen in die Produktion von Nahrungsmitteln und Stärke. Nahrungsmittelprodukte dienen auch zur Versorgung der privaten Haushalte, währenddessen ein gewisser Anteil aus der Stärkeproduktion in die Futtermittelindustrie wandert.

Die Industriekartoffel ist im Bereich der Ernährung, vor allem in Pommes Frites, Chips und Kloßmehl zu finden. Stärkekartoffeln sind für die Ernährung aufgrund ihres hohen Stärkegehaltes nicht von Bedeutung. Heutzutage ist der Anbau von Futterkartoffeln kein Kernpunkt mehr. Vielmehr wird hier nicht vermarktbar Ware zugeführt. Auch Abfall- und Nebenprodukte in der Stärke- und Verarbeitungsindustrie fallen als Futtermittel an (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 2021).

3.5. Anbau

Der Anbau von Kartoffeln beläuft sich im Pflanzkartoffel-, Stärke- und Verarbeitungsgeschäft weitestgehend auf Vertragsanbauten. Dafür werden vor dem Auspflanzen Normgrößen, wie Stärkegehalt und Menge, sowie äußere Kriterien und präferierte Sorten abgestimmt und festgelegt. Generell gilt, dass die Kartoffeln zu den Grundnahrungsmitteln zählen. Sie liegen auf Platz 6 der meist produzierten landwirtschaftlichen Güter weltweit, wie aus folgendem Diagramm 5 ersichtlich wird. Abgebildet ist hier der Mittelwert der produzierten Mengen verschiedener Agrargüter in den Jahren von 1991 bis 2021. Die Angabe erfolgt in Tonnen.

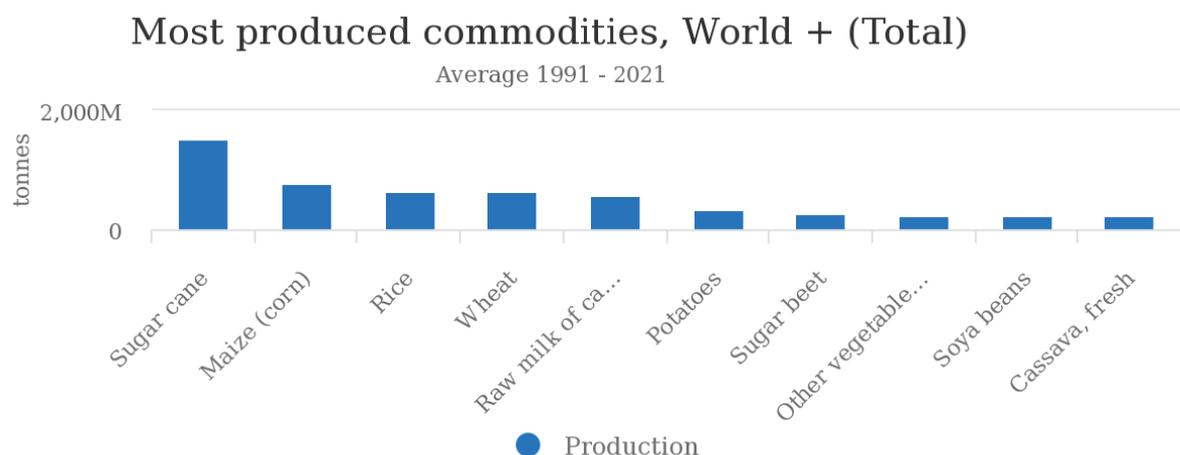


Abbildung 5: Top 10 der weltweit durchschnittlich produzierten Menge an landwirtschaftlichen Gütern in den Jahren 1991 bis 2021 in Tonnen

Quelle: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023

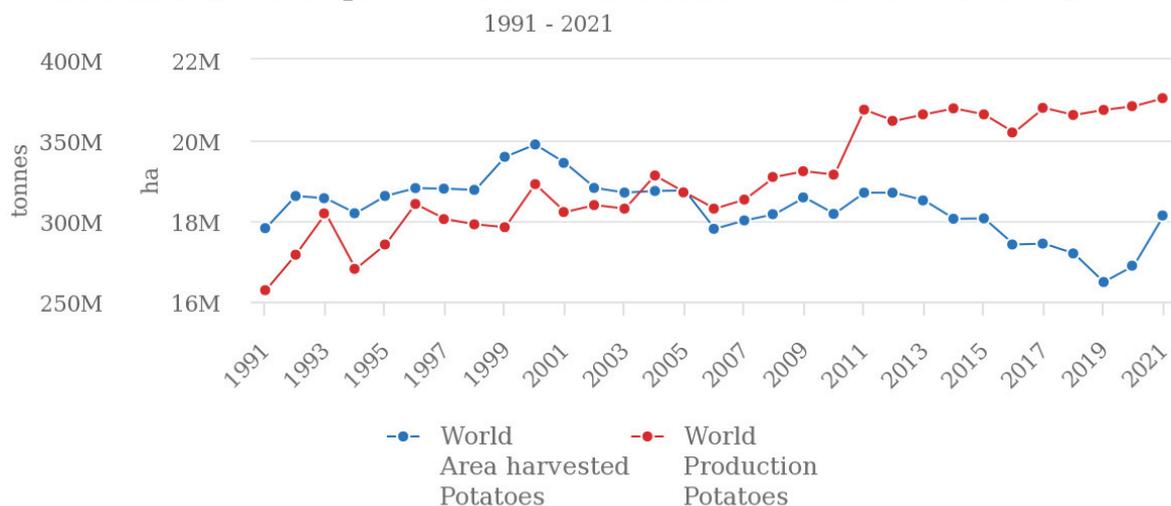
(Titel: „Meistproduzierte Rohstoffe, Welt + (insgesamt)“ (Übersetzt mit www.DeepL.com/Translator))

Zuckerrohr ist das am meisten produzierte Gut mit 1.516.709.891,13 t. Danach kommt auf den Plätzen 2 bis 5 ein Pulk aus Mais, Reis, Weizen und Rohmilch. Dieser Pulk produziert Mengen zwischen 795.539.191,77 t (Mais) und 568.771.762,47 t (Rohmilch). Der nächste Pulk belegt die Plätze 6 bis 10 und besteht aus Kartoffeln, Zuckerrüben, Gemüsearten, Sojabohnen und frischem Maniok. Er beinhaltet Mengen in Höhe von 327.101.767,16 t Kartoffeln bis 224.307.135,6 t Maniok (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023).

3.5.1. Weltweit

Der weltweite Anbau ist auf der nachfolgenden Grafik 6 für die Jahre 1991 bis 2021 erkennbar. Auf der Grafik sind sowohl Anbauumfang in Hektar als auch Anbaumenge in Tonnen angegeben.

Production/Yield quantities of Potatoes in World + (Total)



Source: FAOSTAT (May 31, 2023)

Abbildung 6: Weltweite Produktion und Anbauumfänge von Kartoffeln für die Jahre 1991 bis 2021

Quelle: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023

(Titel: „Produktions-/Ertragsmengen von Kartoffeln in der Welt + (insgesamt)“ (Übersetzt mit www.DeepL.com/Translator))

So wird deutlich, dass im Jahr 1991 die Produktion der Kartoffel auf 17.818.561 Hektar erfolgt ist. Hierbei sind 256.993.287,92 Tonnen geerntet worden. 2021 liegt das weltweite Verhältnis bei einer Erntemenge von 376.119.974,39 t auf 18.132.694 ha. Dies ergibt einen Durchschnittsertrag für das Jahr 1991 von 14,42 t/ha. Verglichen mit den Ergebnissen aus 2021 kann ein deutlicher Zuwachs des durchschnittlichen Hektarertrags auf 20,74 t/ha festgestellt werden. Es gilt zu berücksichtigen, dass die Anbaufläche im Vergleich der beiden Jahre etwa gleich hoch ist. Die Fläche im Jahr 2021 liegt mit etwa 314.133 ha über dem Wert von 1991. Bei der Betrachtung der Jahre dazwischen fällt auf, dass es im Jahr 2000 zu einem Pik der Anbaufläche gekommen ist. In diesem Jahr sind auf knapp 20.000.000 ha Fläche Kartoffeln angebaut worden. Der Ertrag hier liegt bei 16,22 t/ha. Das macht eine gesamte

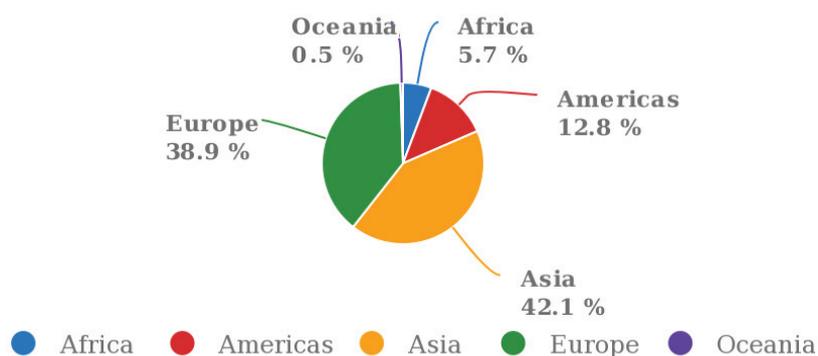
Erntemenge von 322.768.879 t für das Jahr 2000. Bezüglich der Erntemenge gibt es bis 2011 einen stetig wachsenden Trend in der geernteten weltweiten Gesamtmenge. Ab 2011 steigt der Ertrag bei gleichbleibender Hektarfläche nur noch schwach (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023).

Abgeleitet werden kann hieraus, dass die Anbaufläche im Laufe der letzten 30 Jahre etwa gleichgeblieben ist, und dass aufgrund neuer Verfahren, besserem technischen Standard und innovativer Forschung und Züchtung der weltweite Durchschnittsertrag gesteigert worden ist.

Die genannten Gesamtanbaumengen sind auf der Welt nicht gleich verteilt. So gibt das nachfolgende Kreisdiagramm 7 Aufschluss darüber, wie die durchschnittlichen Anbaumengen weltweit auf die Anbauregionen verteilt sind. Betrachtet wird hier das gleiche Zeitintervall wie in der Grafik zuvor.

Production share of Potatoes by region

Average 1991 - 2021



Source: FAOSTAT (May 31, 2023)

Abbildung 7: Durchschnittliche Anbaumengen von Kartoffeln weltweit verglichen nach Regionen in der Zeit von 1991 bis 2021

Quelle: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023

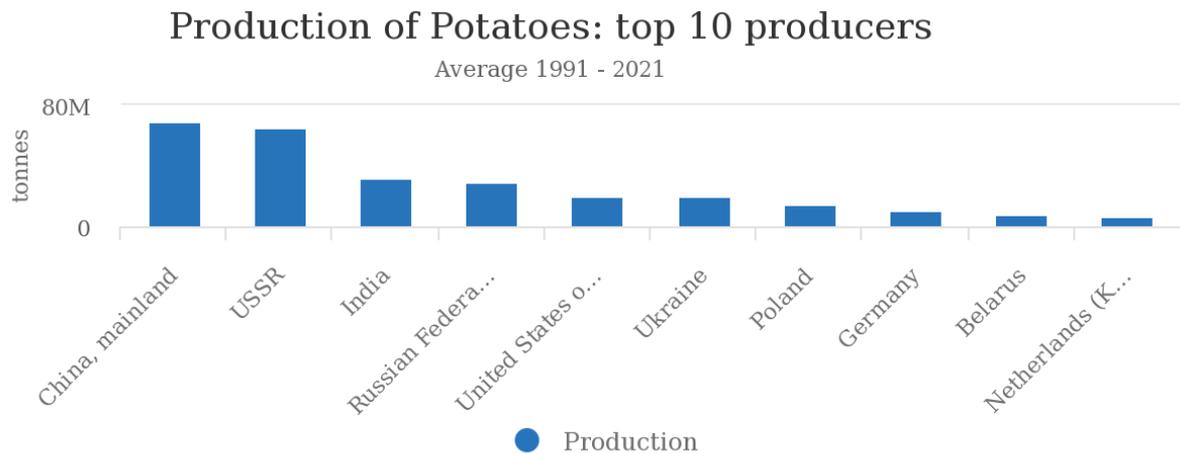
(Titel: „Produktionsanteil von Kartoffeln nach Regionen“ (Übersetzt mit www.DeepL.com/Translator))

Hervorstechend ist, dass Europa und Asien die wesentlichen Mengen in der Produktion erzeugen. Asien belegt Platz 1 mit 42,1 % und 137.750.839,27 t, dicht gefolgt von Europa mit 38,9 % und 127.291.682,19 t. Amerika (12,8 %), Afrika (5,7 %) und Ozeanien (0,5 %) teilen sich die restliche Anbaumenge von insgesamt 62.059.245,7 t (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023).

Abgeleitet werden kann hieraus, dass zwischen 1991 und 2021 der weltweite Anbau von Kartoffeln eine Produktionsmenge von durchschnittlich 327.101.767,16 t umfasst, wobei sowohl Europa als auch Asien den Großteil der Produktion übernehmen.

Aus den Anbauregionen lassen sich ebenfalls Länder ableiten. Diese sind in der nachfolgenden Abbildung 8 mit ihren Anbaumengen erkennbar. Daraus geht beispielsweise hervor, dass China mit 69.330.004,13 t Platz 1 belegt, dicht gefolgt von der USSR mit einer Produktion von 64.837.504 t. Zu Platz 3 bis 10 gehören Indien, Russland, USA, Ukraine, Polen,

Deutschland, Weißrussland und die Niederlande. Es werden Mengen von 32.410.893,55 t (Indien) bis 7.060.738,06 t (Niederlande) produziert. Deutschland belegt mit 11.130.480,06 t Kartoffeln Rang 8 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023).



Source: FAOSTAT (May 31, 2023)

Abbildung 8: Top 10 der Länder mit den meisten produzierten durchschnittlichen Kartoffelmengen von 1991 bis 2021 in Tonnen

Quelle: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023

(Titel: „Produktion von Kartoffeln: Die 10 wichtigsten Produzenten“ (Übersetzt mit www.DeepL.com/Translator))

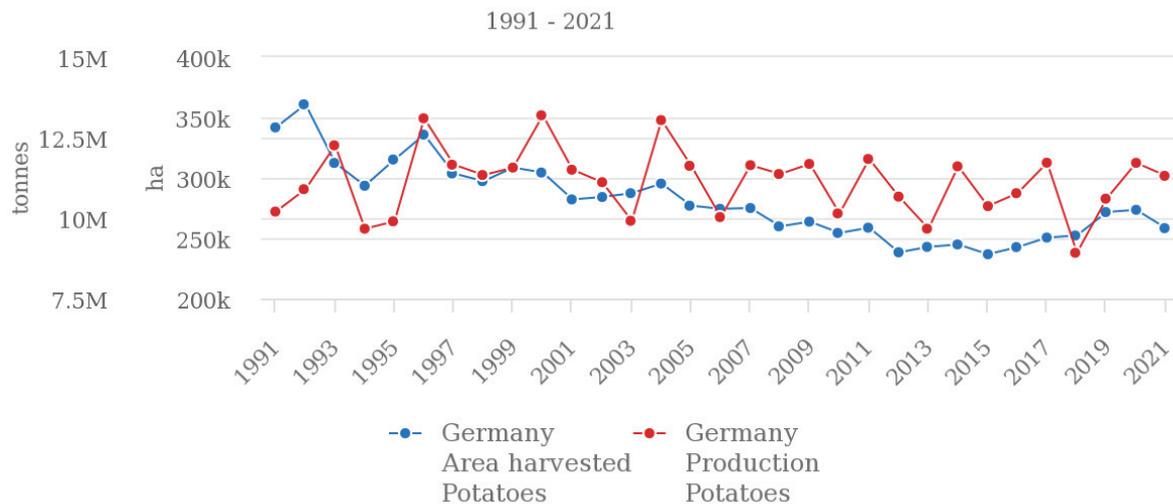
Nach einer statistischen Auswertung durch Eurostat vom Jahr 2018 des EU-28-weiten Pro-Kopf-Verbrauchs von Kartoffeln werden im Durchschnitt 61,3 kg Kartoffeln je Mensch und Jahr verbraucht. Spitzenreiter ist hierbei Lettland, wo 112,7 kg Kartoffeln verbraucht werden. Auf Platz 2 liegt Polen mit 99,5 kg, dicht gefolgt von Rumänien mit 97,7 kg Kartoffeln. Schlusslicht bildet hier Zypern mit 21,1 kg verbrauchten Kartoffeln je Einwohner und Jahr. Deutschland steht im oberen Mittelfeld des Kartoffelkonsums. Jeder Deutsche verbrauchte im Jahr 2018 58,7 kg Kartoffeln (LEL, 2022).

3.5.2. Deutschlandweit

Die Kartoffel ist im Verhältnis zu anderen Feldfrüchten eine junge Ackerbaukultur auf deutschen Äckern. Beispielsweise hielt der Weizen ebenso wie die Gerste bereits zum Neolithikum in Europa Einzug (Schulz, 1913).

Die Kartoffel hingegen wurde als Feldfrucht erstmals 1625 in Baden, 1647 im Vogtland, 1650 in Hessen, 1708 in Mecklenburg, 1710 in Württemberg und der Pfalz angebaut. 1720 wurde die Kartoffel auch in Brandenburg kultiviert, wobei der Kartoffelanbau dort etwas langsamer voranschritt als in den anderen Regionen (Putz, Die Kartoffel als Beitrag zu einer gesunden Ernährung, 2003).

Production/Yield quantities of Potatoes in Germany



Source: FAOSTAT (May 31, 2023)

Abbildung 9: Produktionsfläche und Menge von Kartoffeln in Deutschland von 1991 bis 2021

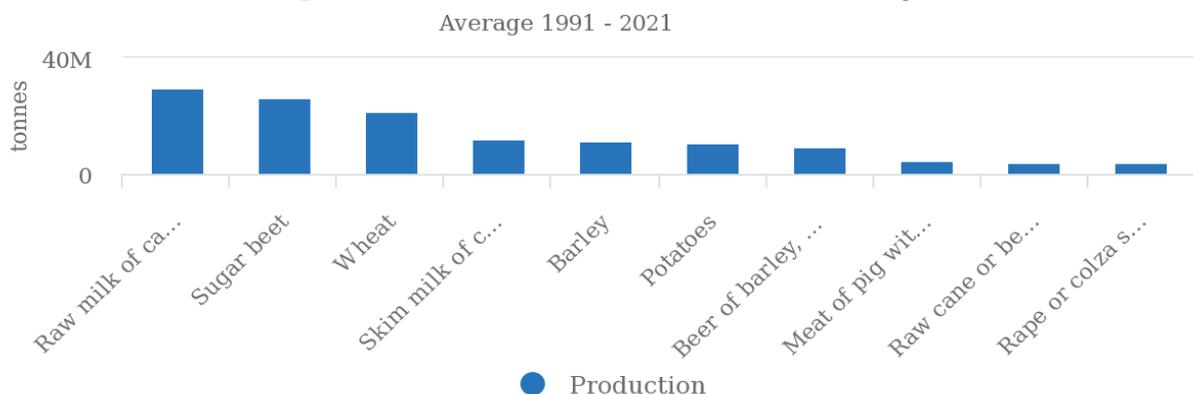
Quelle: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023

(Titel: „Produktions-/Ertragsmengen von Kartoffeln in Deutschland“ (Übersetzt mit www.DeepL.com/Translator))

Die Produktion in Deutschland ist, wie aus der vorangegangenen Grafik 9 entnehmbar, von abnehmenden Kartoffelflächen gekennzeichnet. Dementgegen kann kein richtiger Trend in der Produktion erkannt werden, da die produzierten Mengen zwischen den Jahren sehr sprunghaft variieren.

So liegen die Durchschnittserträge 1991 auf 341.782 ha bei 29,85 t/ha. Das ergibt eine produzierte Menge von 10.200.971 t. Im Vergleich dazu ist 2021 auf gut 258.300 ha Fläche angebaut worden. Das sind knapp 100.000 ha weniger als 1991. Dennoch kann eine Gesamtmenge von 11.312.100 t geerntet werden. Das ergibt einen Durchschnittsertrag im Jahr 2021 von 43,79 t/ha. Die Menge kann somit auf über 10 t/ha und 1.000.000 t Gesamtmenge gesteigert werden.

Most produced commodities, Germany



Source: FAOSTAT (May 31, 2023)

Abbildung 10: Top 10 der am meisten produzierten landwirtschaftlichen Güter im Zeitraum von 1991 bis 2021 in Deutschland in Tonnen

Quelle: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023

(Titel: „Meistproduzierte Waren, Deutschland“ (Übersetzt mit www.DeepL.com/Translator))

Trotz allem macht der Anbau von Kartoffeln innerhalb Deutschlands nicht den wesentlichen Anteil an produzierten landwirtschaftlichen Gütern aus, wie in der vorangehenden Abbildung 10 zu erkennen ist.

Rohmilch steht hier auf dem ersten Platz mit 29.799.626,41 t durchschnittlich produzierter Menge, dicht gefolgt von Zuckerrüben (26.511.134,13 t) und Weizen (21.710.970 t). Platz 4 bis 7 bilden einen dicht gestaffelten Pulk von 12.156.399,29 t bis 9.792.083,73 t bestehend aus Magermilch, Gerste, Kartoffeln und Braugerste. Die letzten drei Plätze sind auch wieder dicht gestaffelt von 4.632.191,06 t bis 4.143.341,13 t. Platz 8 belegt Schweinefleisch, Platz 9 Zucker und Platz 10 Raps.

Die Bedeutung der Kartoffel in ihrer Erntemenge ist somit gleichzusetzen mit ihrer Bedeutung weltweit. Beide Male platziert sich die Kartoffel auf Platz 6 in den Top 10 der Erntemengen (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023).

Neben ihrer Bedeutung in der Erntemenge muss auch die Verwertung beleuchtet werden. Die Kartoffel wird zwar in ihrem Ausgangszustand, der Knolle, geerntet, verbleibt aber nicht immer in diesem Zustand. Wie bereits beschrieben, gibt es zahlreiche Verwendungsmöglichkeiten der Kartoffel und diese sind in der nachfolgenden Grafik 11 noch einmal in ihren Mengen von Wirtschaftsjahr 1990/91 bis 2021/22 zusammengefasst dargestellt.

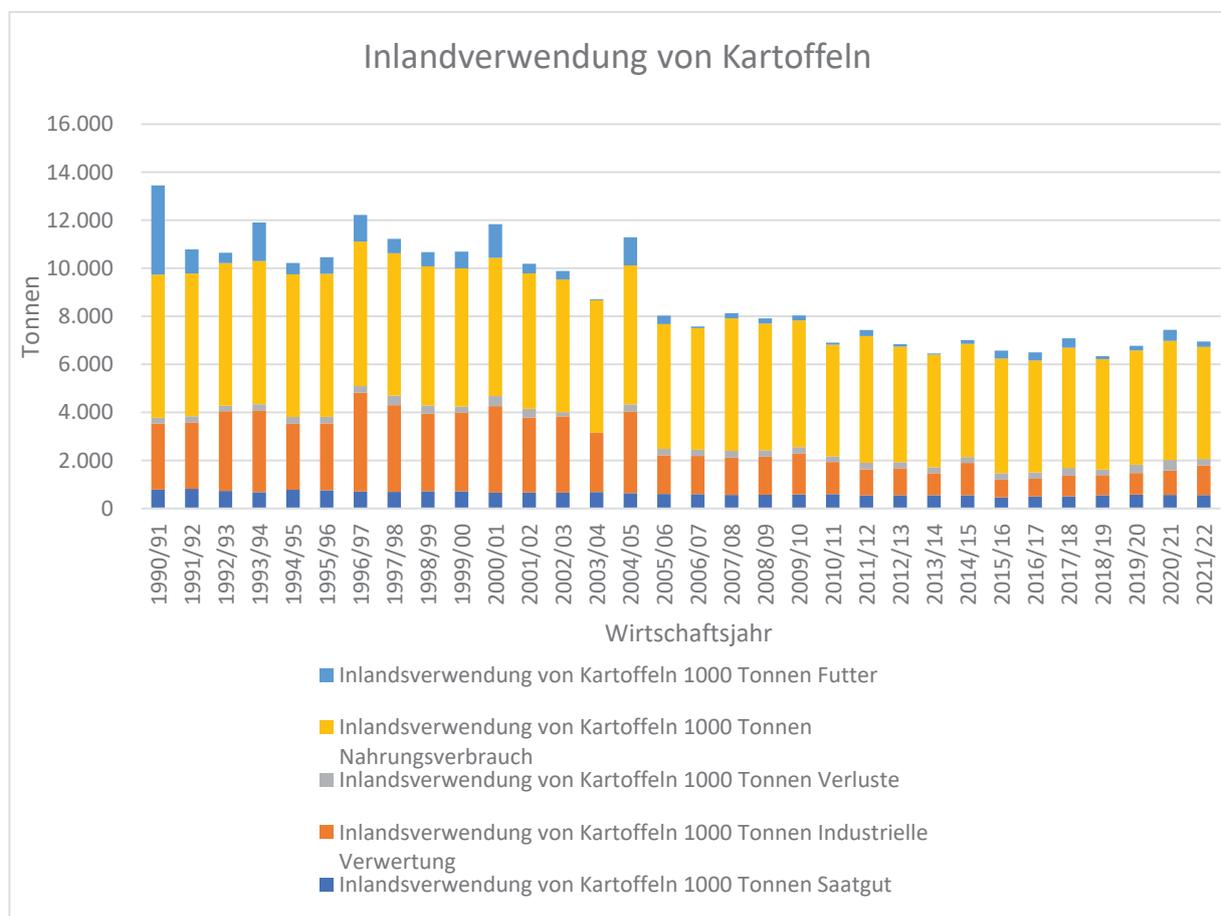


Abbildung 11: Inlandverwendung von Kartoffeln von 1990/91 bis 2021/22 in Tonnen
Quelle: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (b), o.D., eigene Darstellung

Die Abbildung 11 verdeutlicht die Unterteilung der Inlandsverwendung in 5 Arten. So wird die Kartoffel als Futter, als Nahrung und in der industriellen Verwertung verwendet. Außerdem beinhaltet die Grafik die Verluste und die Saatgutproduktion. In allen Bereichen der Kartoffelverwendung lässt sich ein Negativtrend erkennen. Starke Abnahmen befinden sich vor allem in der industriellen Verarbeitung der Kartoffel. Ebenso spielt der Anbau explizit zur Tierfuttergewinnung keine wirkliche Rolle mehr. Dennoch bleiben auch Konstanten in den Produktionsverfahren erhalten. So ist die Saatgutproduktion und die Erzeugung für die Nahrungsproduktion im Laufe der Jahre in nahezu gleichbleibenden Größenrelationen vertreten. Es lässt sich ebenso ablesen, dass sich trotz neuer Verfahren und Methoden der Anteil an Verlusten in der Verwertung auf einem gleichbleibenden Niveau befindet (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (a), o.D.).

Es gibt Erkenntnisse darüber, dass trotz präzise eingestellter Roder etwa 0,5 % bis 3 % der Erntemenge auf dem Acker unwiderruflich zurückbleiben. Auch im Lager fallen Verluste an. So können hier aufgrund von natürlichem Gewichtsverlust in Form von Wasser 4 % bis 7 % angerechnet werden. Schlussendlich kommt es in der Kartoffelproduktion zu einem Verlust von 5 % bis 10 % der Erntemenge (Deutscher Bauernverband, 2013).

Auch im Umsatz spiegelt sich dieser Trend wider. „Laut der Landwirtschaftlichen Gesamtrechnung entfielen im Jahr 2022 89 Prozent der 2,6 Milliarden Euro Verkaufserlöse von Kartoffeln auf Speisekartoffeln“ (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (a), o.D.). Der Rest entfällt auf Industriekartoffeln (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (a), o.D.).

Die Anbaustruktur sieht dabei wie folgt aus. „Im Jahr 2022 betrug die Ackerfläche mit Kartoffeln 267.000 Hektar. Somit wuchsen Kartoffeln auf etwa zwei Prozent des gesamten Ackerlandes. Im Vergleich zum Vorjahr stieg die Kartoffelanbaufläche um 9.000 Hektar. Der Anbauschwerpunkt lag auch 2022 auf den Bundesländern Niedersachsen mit einer Fläche von 122.000 Hektar, Bayern mit 40.000 Hektar und Nordrhein-Westfalen mit 39.000 Hektar“ (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (a), o.D.).

Die Entwicklung des Pro-Kopf-Verbrauchs an Kartoffeln in Deutschland von Wirtschaftsjahr 2012/13 bis 2021/22 kann der nachfolgenden Abbildung 12 entnommen werden. Daraus wird ersichtlich, dass der Anteil an Frischkartoffeln durchschnittlich über alle abgebildeten Jahre rund 40% des gesamten Pro-Kopf-Verbrauchs beträgt. Im Schnitt werden 23,55 kg an frischen Kartoffeln verspeist. Die restlichen 60% machen fertige Kartoffelerzeugnisse aus. Jeder Deutsche verzehrt in einem Jahr rund 34,45 kg an fertigen Kartoffelerzeugnissen. Das ergibt einen gesamten durchschnittlichen Kartoffelverbrauch pro Jahr und Kopf von 58 kg.

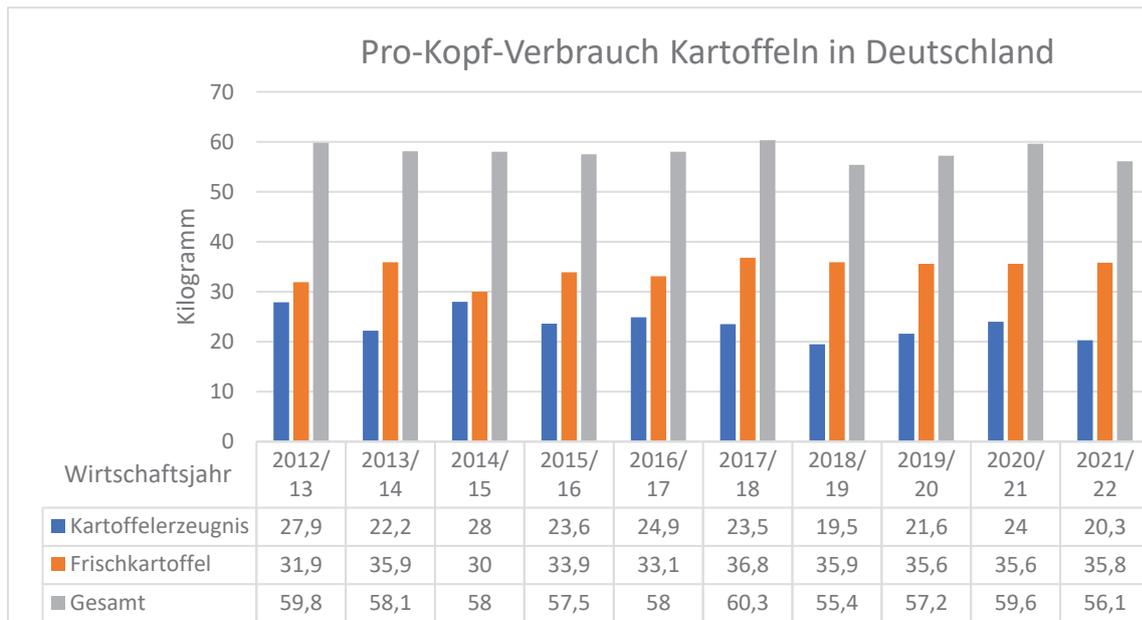


Abbildung 12: Pro-Kopf-Verbrauch von Kartoffeln in Deutschland in Kilogramm von Wirtschaftsjahr 2012/13 bis 2021/22

Quelle: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (b), o.D. , eigene Darstellung

Gleichzeitig ist die Versorgungslage gegeben. So liegt der Selbstversorgungsgrad an Kartoffeln für das Wirtschaftsjahr 2021/22 bei 150%. Damit kann sogar eine Steigerung von 7% im Vergleich zum Vorjahr erzielt werden (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (b), o.D.).

3.5.3. Vergleich Mecklenburg-Vorpommern auf Bundeslandebene

Bundesland	2016	2017	2018	2019	2020v
BW	5.400	5.000	4.800	5.700	6.000
BY	40.200	41.700	38.600	41.100	43.600
BB	9.500	10.000	10.800	11.000	11.400
HE	3.900	3.800	3.900	3.800	4.400
MV	11.500	11.900	12.400	13.000	13.600
NI	107.900	112.300	113.900	119.700	123.300
NW	31.000	31.100	33.200	40.500	35.400
RP	6.700	6.900	6.800	7.500	7.600
SL	100	100	100	200	200
SN	6.300	6.200	5.900	6.100	6.300
ST	12.700	13.500	14.600	15.300	15.200
SH	5.400	6.100	5.600	6.200	6.100
TH	1.800	1.700	1.600	1.600	1.700
Deutschland	242.500	250.500	252.200	271.600	274.900
Quelle: DESTATIS 2021					

Abbildung 13: Anbauflächenentwicklung Kartoffeln von 2016 bis 2020 nach Bundesländern in Hektar
 Quelle: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 2021 nach: Statistisches Bundesamt (Destatis), 2020

Aus der Abbildung 13 geht hervor, dass im Jahr 2020 deutschlandweit 274.900 ha angebaut wurden. Auf Mecklenburg-Vorpommern entfällt davon ein Anteil von 13.600 ha, das sind so etwa 5,5 %. Hauptproduzent ist eindeutig Niedersachsen mit 123.300 ha. Trotz der großen Differenz beider Bundesländer ist Mecklenburg-Vorpommern keinesfalls Schlusslicht, sondern befindet sich auf Platz 5 aller Bundesländer gemäß der Anbaufläche.

Im Bereich der Durchschnittserträge kann Mecklenburg-Vorpommern ebenso mithalten. Aus der nachfolgenden Abbildung 14 wird deutlich, dass der durchschnittliche Ertrag in Mecklenburg-Vorpommern in den Jahren 2016 - 2020 bei 343,9 dt/ha liegt. Im benachbarten Brandenburg liegt der Durchschnittsertrag im gleichen Betrachtungszeitraum nur bei 302,62 dt/ha. Das Bundesland mit dem höchsten Durchschnittsertrag ist Nordrhein-Westfalen mit etwa 460,48 dt/ha. Abgebildet wird in der Grafik der durchschnittliche Kartoffelertrag zwischen 2016 bis 2020 in den Bundesländern mit mindestens 10.000ha Anbaufläche.

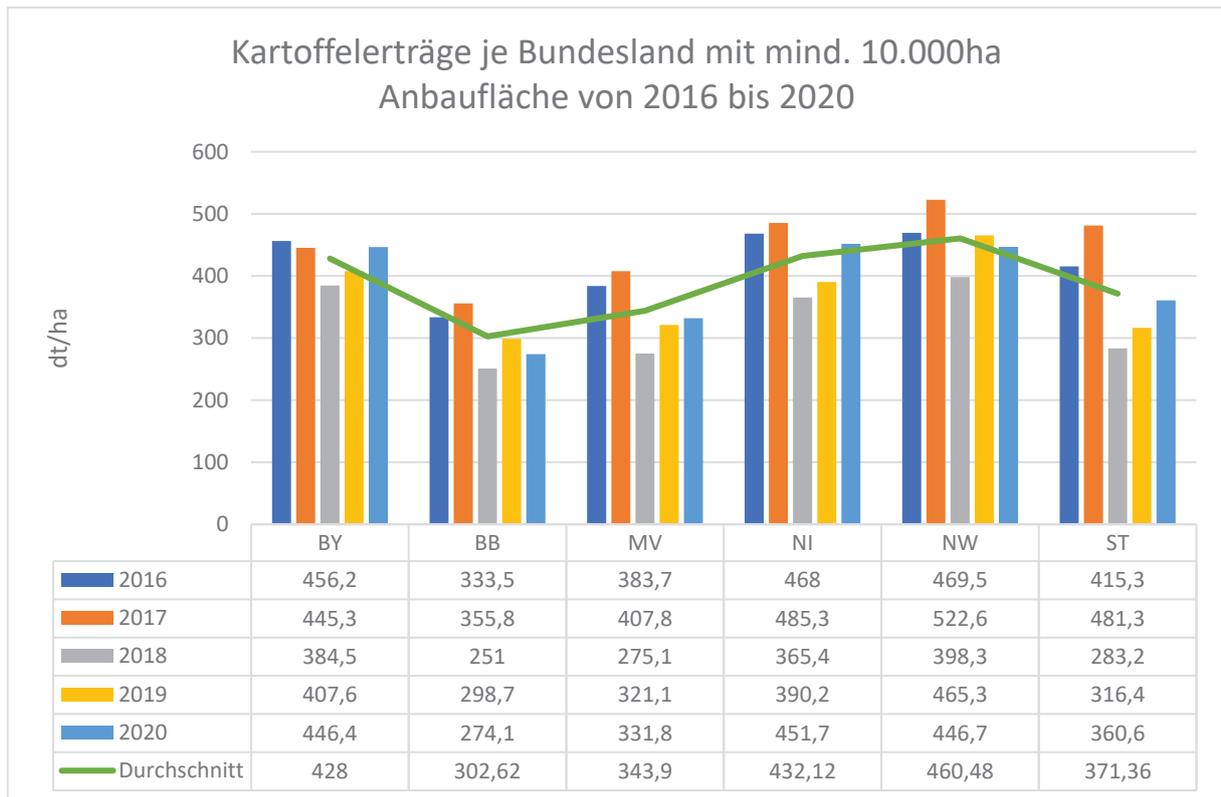


Abbildung 14: Mittlere Kartoffelerträge nach Bundesländern mit mindestens 10.000 ha Anbaufläche in dt/ha zwischen 2016 und 2020

Quelle: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 2021 nach: Statistisches Bundesamt (Destatis), 2020, eigene Darstellung

Der Gewinn im Kartoffelanbau hängt auch mit der Entfernung vom Kartoffellager zur Produktionsstätte zusammen. Durch die flächenmäßig hohen Durchschnittserträge von Kartoffeln ist ein enormer logistischer Aufwand erforderlich, um alle Kartoffeln ihrem Bestimmungsort zuzuführen. So kann ein LKW mit 27 Tonnen Nutzlast das Erntegut von etwa 0,78 ha in MV produzierten Kartoffeln transportieren. Im Vergleich zu Weizen, mit deutschlandtypischen Durchschnittserträgen von 75,8 dt/ha², ergibt das eine einzige LKW-Ladung alle 3,56 ha. Um die Transportkosten gering zu halten, sind neben fabrikorganisierten und bezahlten Transporten, nah gelegene Verarbeitungsstätten essenziell.

So können die Standorte der Kartoffelverarbeitungsindustrie in Deutschland aus nachfolgender Abbildung 15 entnommen werden.

² (Statistisches Bundesamt, 2023)

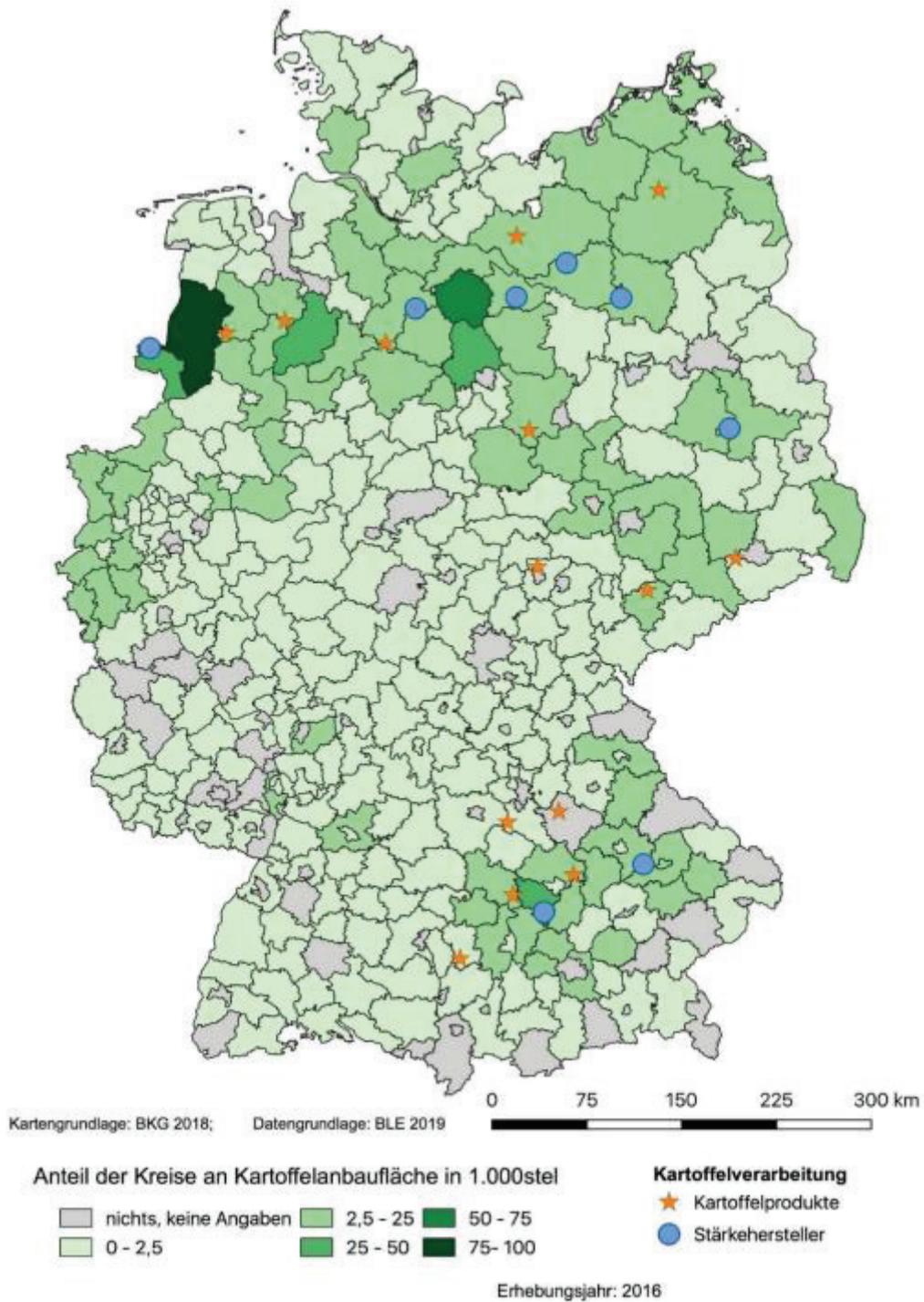


Abbildung 15: Standorte der Kartoffelverarbeitungsindustrien in Deutschland
 Quelle: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 2021

Diese Darstellung zeigt die Gewichtung der Landkreise in Deutschland anhand der Kartoffelfläche je Kreis in 1.000stel.

Es fällt auf, dass es einen direkten Zusammenhang zwischen der Industriestätte und der Höhe der Kartoffelanbaufläche der entsprechenden Kreise gibt. So ist der Kartoffelanbau im Umkreis der Fabriken höher als weiter davon entfernt. Ausnahme hierbei bildet MV. In Mecklenburg-Vorpommern werden fast im gesamten Land Kartoffeln angebaut. Hauptabnehmer ist das

Flockenwerk in Stavenhagen, das beinahe zentral im Bundesland liegt. Angrenzend an das Bundesland liegen Stärke- und Verarbeitungsfabriken der Emsland-Food-Gruppe. Bemerkenswert ist, dass sich die Fabriken besonders im Norden, Osten und Süd-Osten befinden und den Westen, sowie Südwesten weitestgehend aussparen. Ballungsgebiete für den Kartoffelanbau können im Osten, Nord-Osten, Norden und Nord-Westen gefunden werden (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 2021).

Eine Besonderheit, die den Kartoffelanbau in Mecklenburg-Vorpommern von anderen Bundesländern hervorhebt, ist die Bestimmung der Gesundlage. Sie dient dem Schutz des heimischen Kartoffelanbaus, der von den guten phytosanitären und klimatischen Bedingungen profitiert. Außerdem hilft sie bei der Etablierung von Zuchtunternehmen in Mecklenburg-Vorpommern (Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Fischerei , 2000).

Daher gelten spezielle Regeln, die den Anbau von Kartoffeln näher als in anderen Bundesländern bestimmen. So muss Pflanzgut, welches außerhalb von Mecklenburg-Vorpommern produziert wird, speziell auf Viren und Quarantänekrankheiten geprüft werden, um ein Einschleppen jener zu verhindern. Außerdem sind auf Pflanzgut erzeugenden Betrieben alle Maßnahmen zu ergreifen, um ein Ausbreiten von Kartoffelkrebs und Kartoffelzystennematoden zu verhindern. Pflanzenbaulich sind die Landwirte zudem aufgefordert, ihre Bestände virusfrei zu halten, und dabei aktiv Maßnahmen zur Vektorenabwehr durchzuführen (Backhaus, 2020).

3.6. Aktuelle Situation im Pflanzkartoffelanbau

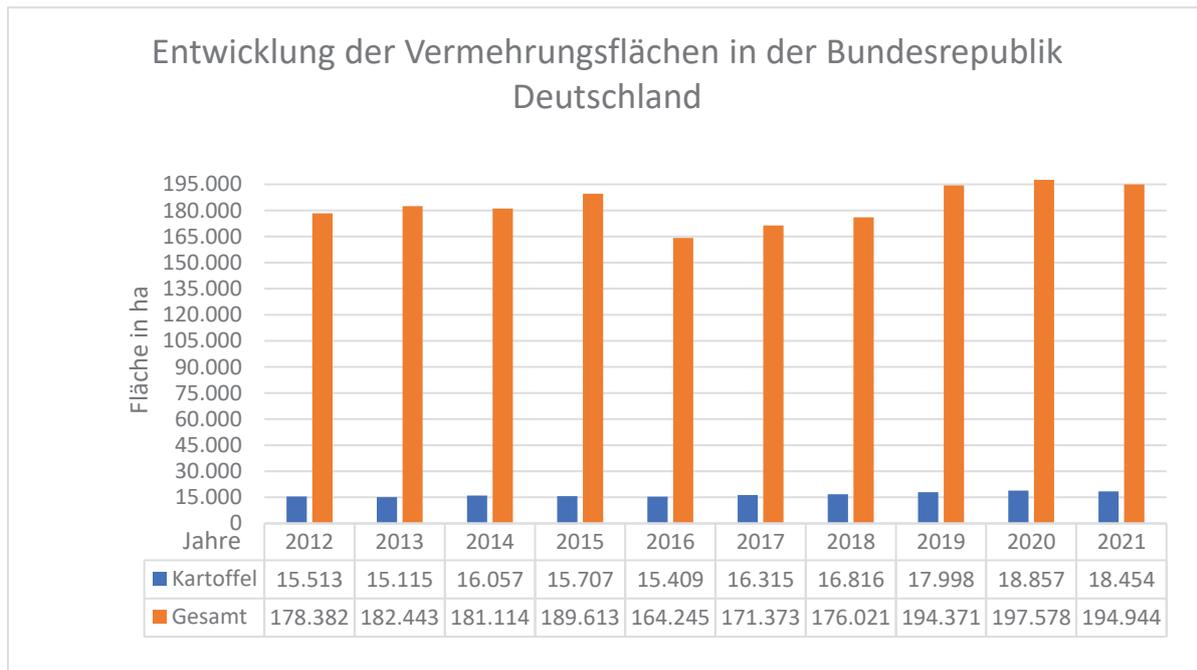


Abbildung 16: Vergleich der Vermehrungsflächen und Vergleich zwischen allen Kulturen gesamt und dem Anteil von Kartoffeln in ha

Quelle: Schneider, 2022, eigene Darstellung

Die aktuelle Situation im Vermehrungskartoffelanbau ist geprägt durch eine Zunahme der Vermehrungsfläche. Dieser Trend kann in der vorangehenden Grafik 16 erkannt werden. So sind 2012 in ganz Deutschland 15.513 ha Vermehrungskartoffeln angebaut worden. 2021 ist diese Fläche um 2.941 ha gesteigert worden, sodass es zu einem gesamten Anbauvolumen von 18.454 ha kommt. Im Jahr 2012 macht die Kartoffelvermehrung anteilig von der gesamten Vermehrungsfläche 8,7 % aus. Neben der flächenmäßigen Steigerung konnte auch eine anteilmäßige Steigerung festgestellt werden. So ist der Anteil der Kartoffelvermehrung in Bezug zur gesamten Vermehrungsfläche um 0,77 % auf 9,47 % gestiegen.

Durch den Bund Deutscher Saatguterzeuger (kurz: BDS) und dem Saatgutverband Mecklenburg-Vorpommern werden die Interessen des Anbaus gebündelt. Diese Verbände und Organisationen dienen dem Erfahrungsaustausch und der Vertretung der Interessen von den Vermehrungsbetrieben gegenüber der Politik.

Dieter Ewald, der Geschäftsführer des Saatgutverbands Mecklenburg-Vorpommern, fasst die aktuelle Lage nachfolgend zusammen. „Bei aller positiven Entwicklung der Saatgut- und Kartoffelbranche, sehen wir auch Probleme, die wir lösen müssen“ (Ewald, 2022). Probleme werden in der „weiteren Bereitschaft der Landwirtschaft zur Vermehrungsproduktion“ (Ewald, 2022) gesehen. Ebenso stellt die „Sicherung eines betriebswirtschaftlichen Auskommens durch die Vermehrungsproduktion“ (Ewald, 2022) ein Wagnis in der Vermehrungsproduktion dar. Hilfreich ist es daher nicht, dass Mineraldünger und Pflanzenschutzmittel strenger reguliert werden, wodurch wichtige Nährstoffe und Wirkstoffe nur noch reduzierter einsetzbar

sind. Gleichfalls stellen zu wenig Arbeitskräfte die Betriebe vor Probleme. Auch Eigentümerwechsel und Wechsel in der Geschäftsführung haben sich in der Vergangenheit oftmals nachteilig beim Erhalt der Vermehrungsproduktion ausgewirkt. Dennoch soll der Vermehrungskartoffelanbau in Mecklenburg-Vorpommern weiterhin erhalten und sogar gestärkt werden, da von hier aus nicht nur innerhalb Deutschlands, sondern auch in 30 weitere Länder hochwertiges Pflanzgut geliefert wird (Ewald, 2022).

4. Grundlagen der CO₂- und Humusbilanzierung

Die Auswirkungen des Klimawandels nehmen auch in Deutschland spürbar zu. Auf der einen Seite plagen Dürren, auf der anderen Seite heftigste Starkregenereignisse das Land. Niederschläge werden konzentrierter und treten oft in Form von Starkregenereignissen auf. Daher ist ein Umdenken in der Landwirtschaft gefordert und eine Anpassungsstrategie von Nöten.

4.1. Das Kyoto-Protokoll und das Pariser Abkommen

Im sogenannten „Erdgipfel“, welcher 1992 in Rio de Janeiro stattfand, wurde der Ausgangspunkt für internationale Bemühungen festgelegt. Gemündet hat dies in der von 195 Staaten ratifizierten und 1994 in Kraft tretenden Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen. Auf diesem Gipfel wurde das erste Mal der Treibhausgasausstoß im Sinne des Klimaschutzes als ernstes Problem definiert und eine Vereinbarung darüber getroffen, den Treibhausgasausstoß freiwillig zu senken. Durch die Selbstverpflichtung der Staaten kam es nun zu bislang 25 von sogenannten Vertragsstaatenkonferenzen der Konvention (Convergence of the Parties, COP) (Endres & Rübhelke, 2022).

Im Kyoto-Protokoll (COP 3) von 1997 wurde sich erstmals auf ein verbindliches Mengenziel von sechs Gasen geeinigt. In der ersten Verpflichtungsperiode, von 2008 bis 2012, sollte das Niveau mindestens um 5 % unter das Niveau von 1990 in den Industriestaaten gesenkt werden. Hierbei ist zu bemerken, dass vor allem Russland und die osteuropäischen Länder deutlich unter der Zielvorgabe lagen und dies somit kein Problem für sie darstellte. Hintergrund dafür ist, dass bereits vor dem Inkrafttreten des Kyoto-Protokolls die Volkswirtschaften unter ökonomischen Zusammenbrüchen und politischen Umschwüngen litten. Dadurch erhielten sie ein zu großes Kontingent an ausstoßbaren Treibhausgasen, welches nie voll abgerufen worden ist. Dieses Phänomen wird als *hot air* bezeichnet. Außerdem konnten aufgrund von Emissionshandel die Treibhausgasemissionen der Annex-B-Länder um fast 12 % reduziert werden. Somit gilt das Ziel formal als erfüllt, auch wenn es vor allem mit dem Handel der *hot air* geschehen ist. Als Annex-B wird ein Teil des Anhangs des Kyoto-Protokolls bezeichnet. In ihm sind Verpflichtungen und jeweilige Länder aufgeführt (Endres & Rübhelke, 2022).

Der Weg zum kostengünstigen Erreichen der Klimaschutzziele im Kyoto-Protokoll konnte dabei über drei Wege realisiert werden. So war es den Industrieländern möglich und erlaubt, Klimaschutzprojekte in Entwicklungsländern voranzutreiben und sich dann Zertifikate dafür gutschreiben zu lassen (Clean-Development-Mechanismus, CDM; Art. 12 KP). Ein anderer Weg war es, dass zwei Industrieländer gemeinsam an einem Klimaschutzziel zusammenarbeiten durften (Joint Implementation, JI, Art. 6 KP). Die letzte kostengünstige und vermutlich einfachste Variante war der Handel mit Zertifikaten unter den Annex-B-Ländern (Emission Trading, ET; Art. 17 KP) (Endres & Rübhelke, 2022).

Die zweite Verpflichtungsrunde wurde in Kyoto 2 festgehalten und sollte ursprünglich den Zeitraum von 2013 bis 2020 definieren. Durch Ratifizierungsprobleme kam ein Inkrafttreten erst durch die Unterschrift von Nigeria am 02. Oktober 2020 zustande. Allerdings beteiligten sich wesentliche Emittenten (Russland, Kanada, Japan) nicht mehr an dem Vorhaben. Obwohl die Annex-B-Länder nur für etwa 15 % der Treibhausgase verantwortlich waren, erfüllten sie ihr Ziel mit einer Reduzierung um 18 % im Vergleich zum Jahr 1990. Daher kann Kyoto 2 vor allem mit einer symbolischen Wirkung gleichgesetzt werden (Endres & Rübhelke, 2022).

Ursprünglich war ein Nachfolgeabkommen des Kyotoprotokolls für die in Kopenhagen stattgefundene COP 15 im Jahr 2009 geplant. Dort wurden allerdings lediglich mit dem Copenhagen Accord wesentliche Eckpunkte zur Kenntnis genommen. Dazu zählen beispielsweise, dass die Durchschnittstemperatur maximal 2°C steigen soll, dass Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel notwendig werden, dass Wälder als Treibhausgas-Senken dienen und somit erhalten bleiben, dass durch marktbasierende Emissionsminderungsmaßnahmen möglichst kostengünstig gehandelt werden kann und abschließend, dass ein Fond zur Unterstützung von Entwicklungsländern eingerichtet werden soll. 2010 kam es zu COP 16 in Cancun, in welchem die Beschlüsse des Copenhagen Accords in den Cancun Agreements festgehalten und erweitert wurden. So gab es ab dann den sogenannten internationalen Klimafonds (Green Climate Fund), und die 2°C-Marke mit optionaler Anpassung auf 1,5°C wurde beschlossen. In Warschau wurde 2013 die COP 19 abgehalten, die nun Änderungen mit den neu eingeführten Nationally Determined Contributions (NDC) mit sich brachte. So wurde statt dem Top-Down-Ansatz der Bottom-Up-Ansatz gewählt. Von hier an konnten die Länder selbstständig festlegen, mit welchen Maßnahmen sie die Klimaziele verfolgen wollten. Gerade für Entwicklungsländer war dies bedeutend attraktiver. Neben der Emissionsvermeidung wurde Wert auf die Anpassung an den Klimawandel gelegt. Außerdem wurde sich in Warschau mit dem Thema loss and damage befasst, also mit Schäden und Verlusten, die durch den Klimawandel einhergehen und nicht mehr verhindert werden können (Endres & Rübhelke, 2022).

Im Jahr 2015 zur COP21 wurde das sogenannte Pariser Abkommen durch 196 Parteien unterzeichnet und trat am 04. November 2016 in Kraft. Mit diesem Abkommen wurden drei Hauptziele verfolgt. Das erste Ziel war die Begrenzung des globalen Temperaturanstiegs auf weniger als 2°C, wenn möglich sogar auf 1,5°C in Bezug zum vorindustriellen Niveau. Der zweite Kernpunkt war die Verbesserung der Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel und dessen Konsequenzen. Das letzte Ziel sollte die finanzielle Sicherstellung der ersten beiden Ziele beinhalten. Aus den Zielen lassen sich Maßnahmen, wie beispielsweise die Emissionsvermeidung, ableiten. So soll bis zur zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts Klimaneutralität erlangt werden, wobei die Bindung in Treibhausgas-Senken weiterhin gefördert wird. Außerdem soll die Integration und die Weiterentwicklung der Nationally

Determined Contributions (NDC) gestärkt werden. Zusätzlich sollen Entwicklungsländer stärker miteingebunden und unterstützt werden. Ebenso ist Gegenstand die Erarbeitung von Strategien zur Anpassung an den Klimawandel, und wie mit den Verlusten und Schäden umgegangen werden kann. Abschließend sollen regelmäßige Kontrollen stattfinden, welche die Transparenz der Vorgehensweise überprüfen und sicherstellen. Ab 2023 sollen alle 5 Jahre Evaluationen gewährleisten, ob die Vermeidungs- und Anpassungsstrategien umgesetzt werden (Endres & Rübhelke, 2022).

2018 wurden auf der COP 24 in Katowice die Ziele noch einmal präzisiert. So sind im Bereich der NDCs Vorgaben bezüglich der einheitlichen Ausgestaltung zur Emissionsvermeidung gemacht worden. Im Bereich der Anpassung an den Klimawandel wurden die Länder aufgefordert, Dokumente ihrer entsprechenden Vorhaben einzureichen. Diese sollen in einem öffentlichen Register gesammelt werden. Auch soll der Adaption Fund, 1997 in Kyoto gegründet, weitergeführt werden. Es gibt nun die Möglichkeit, Schäden und Folgen des Klimawandels in Regionen, die besonders davon betroffen sind, zu melden. Die Finanzierung für das alles bleibt jedoch unklar. So gibt es zwar die Idee, dass Industrieländer auf freiwilliger Basis eine Summe von 100 Milliarden US-Dollar für die Entwicklungsländer spenden, in dem sie alle zwei Jahre einen Bescheid über die Höhe ihrer Spende einreichen. Allerdings wird nicht erwähnt, wer zu den Industrieländern und wer zu den Entwicklungsländern gehört. Außerdem sind die Kriterien zur Aufteilung bislang noch unklar. Im Bereich der Transparenz ist festgelegt, welche Daten von den Staaten zur Verfügung gestellt werden müssen (Endres & Rübhelke, 2022).

Im Vergleich zwischen Kyotoprotokoll und Pariser Abkommen zeigt sich unweigerlich, dass das Pariser Abkommen die Klimaziele der teilnehmenden Länder selbst festsetzen lässt, als sie von oben herab zu diktieren. Es wird auf die Anpassung und den Umgang mit Schäden im Zuge des Klimawandels eingegangen, als nur auf die Verhinderung von Treibhausgasen. Diese andere Herangehensweise half dabei, dass sich bedeutend mehr Teilnehmer zusammengefunden haben. Dennoch fehlt jegliche Art von Sanktionen, welche dem Umsetzen und der Wahrhaftigkeit der Teilnahme guttun würde (Endres & Rübhelke, 2022).

4.2. CO₂- und Treibhausgasemissionen

Was ist unter Treibhausgasen und Emissionen zu verstehen, und warum sind sie so gefährlich für die Welt, wie sie gekannt wird? Die chemischen und physikalischen Eigenschaften von Treibhausgasen behindern die Abstrahlung von Wärme ins Weltall. Dadurch tragen sie zur Erwärmung der Atmosphäre bei. Dieser Effekt wird umgangssprachlich als Treibhauseffekt bezeichnet. Allerdings benötigen wir diesen Effekt auf natürliche Art und Weise, da ohne ihn die Temperatur auf der Erdoberfläche -18 °C betragen würde (Bergfeld, et al., 2017, S. 6).

Aktuell liegt die bundesweite Durchschnittstemperatur „im Jahr 2022 [lag] bei ca. 10,5 °C und damit um 2,3 K über dem Mittelwert der internationalen Referenzperiode 1961-1990“ (Brandt, 2023).

Die Gase, die bei dem Treibhauseffekt mitwirken, sind nicht gleichmäßig oft vertreten. „Kohlendioxid (CO₂) ist zu 60 %, Methan zu 20 %, und Lachgas zu 5 - 6 % beteiligt“ (Bergfeld, et al., 2017, S. 7). Zudem kommen noch Fluorkohlenwasserstoffe, Schwefelhexafluorid (SF₆) und Stickstofftrifluorid (NF₃) hinzu. Für diese weiteren Gase ist die Landwirtschaft keine relevante Quelle. Neben den emittierten Mengen der Gase beruht ihr Beitrag zur Klimaerwärmung auf der unterschiedlichen Klimawirksamkeit. Diese wird in CO₂-Äquivalenten (CO₂eq) wiedergegeben. Das bedeutet, dass eine Relation zu CO₂ erzeugt wird, um eine Vergleichbarkeit zu erzielen. Hierbei wird über einen bestimmten Zeitraum, üblicherweise 100 Jahre, die Wirksamkeit betrachtet. Methan ist dabei etwa 25-mal klimawirksamer als die gleiche Menge CO₂. Bei Lachgas liegt dieser Faktor sogar bei 298. Der Faktor wird auch als *global warming potential* (GWP) wiedergegeben (Bergfeld, et al., 2017, S. 7).

Wie die nachfolgende Abbildung 17 aufzeigt, ist die wichtigste Quelle im Marktfruchtbau die N-Düngung. Diese macht 66 % der gesamten Treibhausgas-Emissionen aus. Etwa 24 % des Gesamtausstoßes sind bedingt durch den Einsatz von Maschinen. Hierbei ist etwa ein Viertel auf den direkten Einsatz von Kraftstoff zurückzuführen. Außerdem fällt etwa ein Zehntel durch den Humusabbau an.

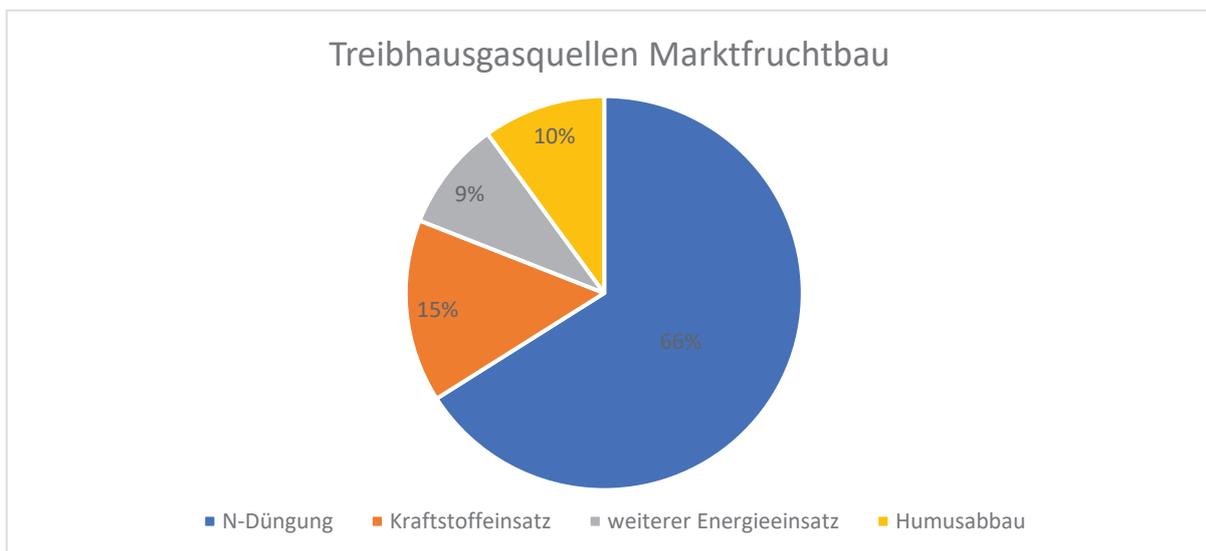


Abbildung 17: Treibhausgasquellen im Marktfruchtbau
Quelle: Bergfeld, et al., 2017, S.10, eigene Darstellung

4.3. Lösungsmöglichkeiten in der Pflanzenproduktion

Zu den Lösungsmöglichkeiten für die Minderung von Treibhausgasen im Betrieb zählt die Verringerung produktbezogener Treibhausgasemissionen unter Vermeidung von Ertrags- und Tierverlusten (Vgl.: CO₂-Fußabdruck). Es ist möglich, durch Ertragszunahme bei gleichem Faktoreinsatz, die Emissionen auf die höhere Menge an Produkten anzurechnen. Im Umkehrschluss verbessert dies die Bilanz des einzelnen Produkts. Allerdings besteht dabei auch das Risiko, durch weitere Prozesse in der Produktion den Ausstoß an Treibhausgasen zu steigern. Daher sollte im Speziellen die Effektivität gesteigert werden, wie beispielsweise durch geeignete Bodenbearbeitung zur optimalen Saatbettbereitung, den Einsatz von standortangepassten Kulturen, eine optimale Nährstoffversorgung, termingerechte Arbeitserledigung, Pflanzenschutzmaßnahmen und die Nutzung von Beregnungsmaßnahmen, sofern vorhanden. Auch müssen Lagerverluste so gering wie möglich gehalten werden. Dies kann durch ein günstiges Temperaturmanagement realisiert werden (Bergfeld, et al., 2017, S. 13,17).

Wichtig ist dabei ebenso die Verbesserung der Stickstoffausnutzung. Gerade hierbei können wesentliche Mengen an Treibhausgasen gespart werden. So stellen direkte und indirekte Lachgasemissionen die Hauptquelle der Treibhausgasemissionen in der pflanzlichen Erzeugung dar. Lachgas mit 298 GWP ist besonders klimawirksam. „Die direkten Lachgasemissionen entstehen als Nebenprodukt der Nitrifikation bzw. als Zwischenprodukt der Denitrifikation im Boden“ (Bergfeld, et al., 2017, S. 14). Die Mengen entsprechen etwa 1 % der ausgebrachten Stickstoffmenge. Hier kann der Landwirt durch angepasste Düngung handeln. Gedüngter Stickstoff kann entgasen und abgespült werden. Ammoniak (NH₃) entgast und Nitrat (NO₃-) wird über das Sickerwasser oder den Oberflächenabfluss ausgewaschen. So gelangen Stickstoffdünger aus der landwirtschaftlichen Produktion in die angrenzenden Naturräume. Dieser Einfluss wird als indirekte Emission bezeichnet und kann mit einem Emissionsfaktor von 1 % für Ammoniak und 0,75 % des emittierten Stickstoffs bei Nitrat angenommen werden. 95 % der Ammoniakemissionen stammen aus der Landwirtschaft (Bergfeld, et al., 2017, S. 14). Aber auch bei der Produktion von Stickstoffdüngern werden Emissionen frei. Daher gilt es in mehrfacher Weise, die Stickstoffdüngung angepasst zu halten. Die Höhe bei der Herstellung ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Der Herstellungsprozess ist genauso entscheidend, wie das entsprechende Düngemittel. Für Kalkammonsalpeter müssen Werte von 2,8 bis 6,4 kg CO₂eq/kg Stickstoff angenommen werden. Bereits über die Auswahl des Düngemittels lässt sich die landwirtschaftliche Bilanz anpassen. Dies verrät auch nachfolgende Abbildung 18. Es wird deutlich, dass bereits 47% der Emissionen noch vor dem Einsatz auf dem Feld frei werden (Bergfeld, et al., 2017, S. 20).

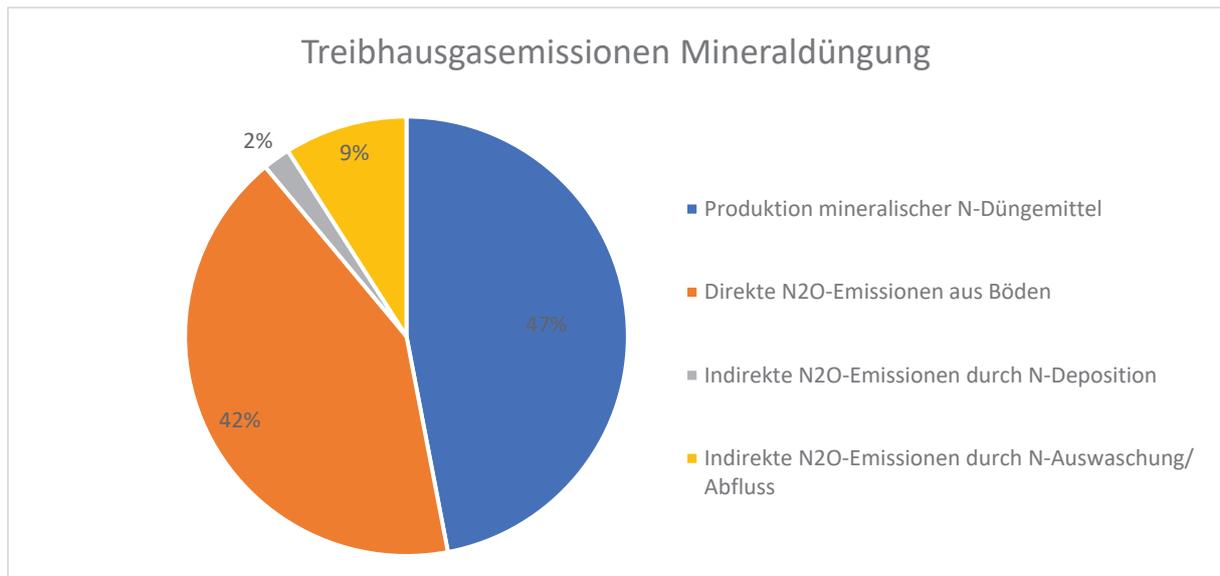


Abbildung 18: Treibhausgasemissionen durch 1 Kilogramm Mineraldünger-Stickstoff
 Quelle: Bergfeld, et al., 2017, S. 20, eigene Darstellung

Neben diesen Faktoren lässt sich durch Energieeinsparung die Treibhausgasemission senken. So können Produktionsprozesse, wo es eben möglich ist, nicht nur kostengünstiger gestaltet werden, sondern auch umweltschonender (Bergfeld, et al., 2017, S. 16).

Möglich ist, in sensorgestützte Applikationstechnik zu investieren, um die Präzision der Düngergaben zu steigern und die Umwelt zu schonen. Dabei wird anhand des Aufwuchses die Düngermenge errechnet und es erfolgt standortspezifisch die Düngergabe. Bei der Investition in Technik, gerade im Wirtschaftsdüngerbereich, sollte nicht vor moderner Gülletechnik Halt gemacht werden. Der Vorteil ist eine bodennahe Ablage der Gülle, die zum Teil sogar direkt in einem Arbeitsgang eingearbeitet wird. Dies sorgt dafür, dass bei Rindergülle etwa 80 % der Emissionen im Vergleich zum Prallteller, im Verfahren mit Hilfe eines Güllegrubbers gemindert werden können (Bergfeld, et al., 2017, S. 21-23).

Des Weiteren kann in der Fruchtfolge Treibhausgas gespart werden. So kann es nach der Ernte der Hauptkultur zu Nitratverlusten kommen, da stetig Stickstoff über die Mineralisierung organischer N-Verbindungen nachgeliefert wird. Zwischenfrüchte sind dabei als essenziell anzusehen. Diese nutzen den im Boden vorhandenen Stickstoff und dienen zeitgleich dem Schutz vor Erosionen. Vor allem Lachgasemissionen sind problematisch und können gut mithilfe von Zwischenfrüchten eingegrenzt werden. Dieser Effekt ist bei abfrierenden Zwischenfrüchten geringer als bei winterharten. Die Einbindung N-effizienter Sorten oder Leguminosen ist von Vorteil. Letztere binden Stickstoff effizienter als andere Kulturen und Sorten und verringern so den möglichen N-Überschuss im Boden. Zumal die Düngerwirkung durch Leguminosen nicht durch Treibhausgase aus der Produktion belastet ist. Dadurch kann hier die betriebliche Bilanz aufgebessert werden (Bergfeld, et al., 2017, S. 24-26).

„Eine langfristige Bindung von organischem Kohlenstoff in Böden lässt sich nur über eine dauerhafte und lückenlose umgesetzte humusfördernde Bewirtschaftung realisieren“ (Bergfeld, et al., 2017, S. 26).

4.4. Humus

Die Grundlage für Ertragsbildung und Bodenfruchtbarkeit stellt im ökologischen Landbau der Humus dar. Dieser soll über einen bestimmten Soll-Wert gehoben werden, um gut ernährte und gesunde Pflanzen erzeugen zu können (Hülsbergen & Döhler, 2005).

Übertragen auf die konventionelle Landwirtschaft kann pauschal gesagt werden, dass durch eine Humusanreicherung in landwirtschaftlichen Böden eine Bindung von CO₂ stattfindet. Humusverlust hingegen setzt Treibhausgas frei. Außerdem kann durch einen höheren Humusgehalt im Boden Wasser länger gespeichert und die Bodenfruchtbarkeit verbessert werden. Besonders für leichtere Böden stellt dieser Effekt eine Aufbesserung dar (Bergfeld, et al., 2017, S. 16).

Die Zufuhr von organischer Substanz über Erntereste, Wirtschaftsdünger und den Anbau von Zwischenfrüchten ist essenziell für die nachhaltige Mehrung von Humus. Die höchste Humuswirkung haben Kompost und Festmist. Zudem kann die Fruchtfolgegestaltung Humus mehren und Treibhausgasbilanzen verbessern. Im ökologischen Landbau ist das Klee gras von essenzieller Bedeutung, aber auch andere Leguminose-Gras-Mixe eignen sich hervorragend. Dieses Feldfutter kann zur Fütterung oder für die Biogasanlage genutzt werden. Das jeweilige Endprodukt des entsprechenden Verwendungszwecks stellt wiederum Dünger mit hohem Humusaufbaupotential dar (Bergfeld, et al., 2017, S. 28).

Im Bereich der Humusmehrung haben Versuche gezeigt, dass die reduzierte Bodenbearbeitung nicht eindeutig den Humusgehalt erhöhen konnte. Es wurde zwar kurzfristig mehr Kohlenstoff im obersten Horizont festgestellt, dieser Effekt war jedoch nicht von langer Dauer. Außerdem blieb der restliche Boden weitestgehend unverändert. Dennoch ist in Anbetracht des Erosionsschutzes dieses Vorgehen zu befürworten, da Erosionen verhindert werden können. In jedem Fall ist auf eine erhöhte Unkrautpopulation zu achten, die sich durch den Pflugverzicht einstellen kann (Bergfeld, et al., 2017, S. 26-28).

Es ist zu betonen, dass Humus ein wichtiger Pool im Stickstoffkreislauf ist. So befinden sich etwa 95 % des gesamten Stickstoffs im Boden. Auch stellt er ein gutes Bodengefüge her, das ihm die positiven Eigenschaften mitgibt. Es kommt zu einer erhöhten Aggregatstabilität, einer guten Bodendurchlüftung, verbesserter Durchwurzelbarkeit und besserem Wasserhaltevermögen sowie einem verringerten Oberflächenabfluss und somit einem geringeren Risiko für die Wassererosion. Außerdem wird bei einem hohen Humusgehalt von

einem geringen Schadverdichtungspotential ausgegangen. Gerade in einer Zeit, in der die Düngung stark reguliert ist, kann die Nachlieferung aus dem Bodenvorrat von entscheidender Bedeutung sein, um ein optimales Ernteergebnis zu erzielen (Hülsbergen & Döhler, 2005, S. 25).

Humus ist die Nahrungsquelle für Bodenmikroorganismen und Bodentiere, die in ihrer Menge mit der Humusmasse in enger Beziehung stehen. Es gilt, zwei Arten an Humus zu unterscheiden. Die erste Art ist der Nährhumus. Diese Variation ist als umsetzbarer Teil des Humus im Boden verfügbar. Unumstritten ist, dass die Menge an umsetzbarem Humus stark von der Bewirtschaftung abhängt. Je nach Bearbeitungsintensität können zwischen „1 bis 5 % abgebaut“ (Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2015) werden. Dieser Prozess ist zudem noch in seiner Geschwindigkeit von der Temperatur, der Bodenart und der Wasserversorgung abhängig. Der unbeeinflussbare Teil des Humus im Boden wird als Dauerhumus bezeichnet. Die Menge ist nicht von der Bodenbearbeitung beeinflussbar, sondern nur von der Bodenart und dem Klima (Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2015).

In der Humusbilanzierung wird vom Humussaldo ausgegangen. Dieser ergibt sich aus der Humuszufuhr abzüglich dem Humusbedarf. Der Humussaldo entspricht dabei einer Schätzung der Änderung der Humusvorräte im Boden, wobei der fruchtartspezifische Humusbedarf zehrender Kulturen dem Nachlieferungsvermögen humusmehrender Kulturen, organischem Dünger und Zwischenfrüchten gegenübergestellt wird. Hierbei beeinflussen die angebauten Pflanzen durch ihr Wurzelsystem die Anforderungen an die Saatbettbereitung sowie den Zuwachs oder den Verlust an Humus. Der Zuwachs an Humus aus organischen Düngern und Ernterückständen lässt sich anhand der Menge und Beschaffenheit näher bestimmen.

Die Humusbilanzierung hat als Ziel, die Veränderungen der Vorräte an organischer Bodensubstanz, die durch Bewirtschaftung entstehen, abzuschätzen. Bei einer Humusbilanz mit einem Saldo von ca. 0 lässt sich ein bewirtschaftungsspezifischer Optimalgehalt erwarten. Wenn der Saldo negativ oder positiv ausfällt, lassen sich Rückschlüsse auf mögliche Veränderungen in der Bewirtschaftung ziehen (Hülsbergen & Döhler, 2005, S. 27-28).

Zur Berechnung des Humussaldos gibt es drei mögliche Verfahren, die in der nachfolgenden Tabelle 2 aufgeführt sind.

Tabelle 2: Übersicht zu den Humusbilanzierungsmethoden

Methoden	Maßeinheit
ROS	Reproduktionswirksame organische Substanz (ROS) = organische Trockenmasse (TM) von Stalldung 1 t ROS = 1 t org. TM von Stalldung
HE	Humuseinheit = 1 t Humus mit 55 kg N und 580 kg C 1 t ROS = 0,35 HE
VDLUFA	Humusäquivalent = 1 kg Humus-C 1 t ROS = 200 kg Humus-C 1 HE = 580 kg Humus-C

Quelle: Hülsbergen & Döhler, 2005, S. 28, eigene Darstellung

Das älteste Verfahren dazu ist das Verfahren der reproduktionswirksamen organischen Substanz (ROS). Dabei wird Stalldünger aus pragmatischen Gründen als Referenzwert genutzt. Der Ansatz stammt aus den 60er bis 70er Jahren und reflektiert die damalige Bewirtschaftungs- und Ertragssituation. Die Ergebnisse basierten auf Dauerfeldversuchen auf Diluvial- und Lößstandorten Nordostdeutschlands.

Später, bei der Entwicklung der Humuseinheit-Methode (HE), wurde der Stickstoffhaushalt aus Feldexperimenten abgeleitet. Grundlage waren abgeleitete und präzisierte ROS-Werte. Bei dieser Methode wurden Standortdaten, Düngegaben und der Ertrag miteinbezogen. 2004 kam es zur Entwicklung der VDLUFA-Methode mit dem Ziel der Harmonisierung der Humusbilanzmethoden. Die benutzten Koeffizienten sind aus der ROS-Methode abgeleitet worden. Die Methode hat in ihren Koeffizienten Schwankungsbereiche, um verschiedene Ertragspotentiale und Anbauverfahren unterscheiden zu können. Wird ein Vergleich der Koeffizienten zwischen HE-Methode und VDLUFA-Methode gezogen, sind die Werte identisch. Allerdings muss bei der VDLUFA-Methode der oberste Wert angenommen werden. Im Feldversuchswesen liegt der Ursprung der Werte begründet.

Somit entspricht der Humusbedarf der Menge an organischer Substanz, die zum Erhalt des Humusausgangsvorrates genügt. Hierbei weisen Hackfrüchte den höchsten Bedarf auf und gelten daher als Starkzehrer. Ein Humusaufbau kann durch mehrjährigen Ackerfutteranbau, Zwischenfrucht- oder Leguminosenanbau erzielt werden. Im Vergleich weist der Kartoffelanbau nach VDLUFA eine Humuswirkung von -760 - -1000 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹ auf. Ein Luzerne-/Kleegrasgemisch erreicht dabei Werte von +600 - +800 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹. Dementsprechend kann nur bedingt innerhalb eines Jahres der Humussaldo mittels dieser beiden Kulturen auf null gestellt werden (Hülsbergen & Döhler, 2005, S. 26-30).

Organische Düngestoffe werden durch deren stoffliche Zusammensetzung näher bestimmt. So ist die Humusersatzleistung bei Festmist abhängig vom Rottegrad, aber auch von der Tierart und der Trockensubstanz. Kompostierter Stallmist kann beispielsweise mit 62 kg

Humus-C t⁻¹ angenommen werden. Stroh hingegen sogar mit 80 bis 110 kg Humus-C t⁻¹ (Hülsbergen & Döhler, 2005, S. 30).

Zur Bewertung der Humusversorgung nach VDLUFA werden Salden gebildet, welche die Wirkung auf die Ertragssicherheit und das Verlustpotential für Stickstoff berücksichtigen. Dazu gibt es eine Staffelung in verschiedene Gruppen, ähnlich Gehaltsgruppen von Nährstoffen in Bodenuntersuchungen. Um aussagekräftige Werte zu erzielen, sollte in jedem Fall die gesamte Fruchtfolge abgebildet werden. Auch können Bilanzen auf Betriebsebene oder Schlagebene erfolgen. Auf Schlagebene sollte dann mindestens 5 – 10 Jahre zurück gegangen werden, um belastbare Ergebnisse zu erhalten (Hülsbergen & Döhler, 2005, S. 30-31).

5. Vorstellung des Beispielbetriebs

Diese Arbeit hat einen real existierenden Beispielbetrieb zur Grundlage, welcher hier nicht weiter namentlich genannt wird. Die genutzten Werte stammen aus dem Erntejahr 2022.

5.1. Betriebsspiegel

Im Betriebsspiegel soll der Betrieb charakteristisch vorgestellt und umrissen werden. Der landwirtschaftliche Betrieb ist ein Haupterwerbsbetrieb in der Betriebsform der GmbH. Besonderheit der GmbH ist, dass die aktiven Anteilseigner zu einem großen Teil noch im Betrieb tätig sind. Der Betrieb hat seinen Ursprung in der ehemaligen DDR und galt damals als Vorzeige-LPG mit diversen Untergliederungen und Nebenbereichen. So gab es neben dem landwirtschaftlichen Betrieb eine eigene Gärtnerei. Auf den Flächen wurde auch Gemüse angebaut. Besonderheit im ackerbaulichen Produktionssystem des Betriebs ist die komplette Beregnungsmöglichkeit aller Flächen, ausgehend von einer zentralliegenden Pumpstation. Diese liefert das Wasser aus dem nah gelegenen Fließgewässer in eine Rohrleitung. Die Leitung verläuft als Ring einmal unterirdisch durch die gesamte Flächenausstattung des Betriebs, wodurch auf jeder Fläche beregnet werden kann. Der Druck in der Leitung wird durch 5 große Pumpen aufrechterhalten. Den Strom erhalten diese durch eine eigene Trafostation mit integrierter Pumpensteuerung. Früher gab es neben den Rollregnern auch Kreisregner. Sie wurden später durch die Anschaffung von weiteren Rollregnern kompensiert und abgeschafft. Zurzeit befinden sich über 15 Regner auf dem Betrieb. Alle Regner können 72 m breit regnen. Lediglich im Antrieb unterscheiden sie sich. Einige laufen als Gesamtes zum Hydranten zurück, andere ziehen nur den Regnerwagen wieder ein. Dennoch arbeiten sie alle gleich, über den permanent anliegenden Wasserdruck. Die hohe Anzahl an Regnern ist durch die Kartoffelfläche begründet. In Hochzeiten müssen sämtliche Kartoffeln alle 7 bis maximal 10 Tage beregnet werden, um immer optimal mit Wasser versorgt zu sein. Hierbei ist Schlagkraft gefordert. In Kartoffeln werden je nach Aufwuchs bis 30 l/m² beregnet. Wenn Getreide beregnet wird, dann in der Regel mit maximal 20 l/m². Auch in der Anzahl der Durchgänge unterscheiden sich die Kulturen. Kartoffeln können in einer Kulturperiode bis zu 7-mal beregnet werden, wohingegen Getreide nicht öfter als 3-mal beregnet wird. Die Entscheidung zum Beregnen wird mittels Computersoftware und der ökonomischen Lage abgewogen und getroffen.

Der Betrieb ist geschäftsführergeführt und hat zwei zusätzliche Personen im Büro, wobei sich eine um die Finanzbuchhaltung kümmert und die andere um die Warenbuchhaltung. Besonders im Pflanzkartoffelgeschäft ist diese Stelle essenziell. Es werden Etiketten für Pflanzware gedruckt, Lieferscheine und Rechnungen ackerschlagkarteimäßig verbucht, Warenprotokolle geschrieben und Dispositionsaufgaben erledigt. Außerhalb des Büros gibt es zwei Angestellte für die pflanzenbauliche und technische Führung des Betriebs. Beim

gestapelt werden, um die Sortenreinheit gewährleisten zu können. Wirtschaftskartoffeln werden in Schütthalden in Hallen gelagert. Alle Kartoffeln können mittels Frischluft und drückenden Lüftern zwangsbelüftet werden. Eine Kühlung mit einer Klimaanlage oder ein ausgesprochenes Kühlhaus gibt es nicht.

Winterweizen wird auf 375,04 ha angebaut, Sommerweizen auf 52,46 ha, Winterroggen auf 157,42 ha und Wintergerste auf 154,73 ha. Die komplette Getreideproduktion kann eigenmechanisiert durchgeführt werden, genau wie die komplette Raps- (306,34 ha) und Lupinenproduktion (46,07 ha). Alle Kulturen, bis auf Raps, werden zur Saatgutvermehrung produziert. Kernstück bei der Ernte sind die 3 Mähdrescher, welche eine hohe Flexibilität mit sich bringen. Besonders im Winterroggenanbau ist die Terminierung dringlich, da ansonsten die Keimfähigkeit stark nachlässt und das Tausendkorngewicht sinkt. Die Parameter sind wichtig, damit das Getreide bei der Aussaat auch aufläuft und neuen Ertrag garantieren lässt. Sonnenblumen sind im Erntejahr 2022, das erste und vorerst letzte Mal, angebaut worden. Die 13 ha große Fläche diente als Versuch und bleibt in dieser Arbeit aufgrund der Marginalität des Anbauumfangs und der Anbauhäufigkeit in den Erntejahren unberücksichtigt.

Zuckerrüben werden auf 103,34 ha angebaut. Auch hierbei ist der Betrieb fast vollständig eigenmechanisiert. Lediglich die Ernte wird mittels Lohnunternehmen realisiert. Die Abfuhr des Erntegutes erfolgt etappenweise in die Zuckerrübenfabrik nach Anklam.

Der Betrieb liegt zentral in Mecklenburg-Vorpommern. Die Böden dort zeichnen Sande, schwach lehmige Sande bis hin zum sandigen Lehm aus. Es werden Bodenpunkte zwischen 19 und 55 erreicht, wobei die Flächen mit schwachem bis schwächerem Boden überwiegen. Durchschnittlich über alle Flächen kann eine Bodenwertzahl von 30 Bodenpunkten gesamtbetrieblich angenommen werden.

Die Lagerkapazitäten auf dem Betrieb umfassen 17.000 Tonnen.

Verfahrenstechnisch besitzt der Landwirtschaftsbetrieb 14 Ackerschlepper in einer PS-Klasse von 90 bis 500 PS. Am häufigsten ist die PS-Klasse zwischen 110 und 180 PS angesiedelt, mit dem Hintergrund, für die meisten gängigen Arbeiten eine direkte Über- oder Untermotorisierung zu vermeiden.

Der Pflanzenschutz wird mit einem Wasserfass als Zubringer und einer selbstfahrenden Amazone Pantera Pflanzenschutzspritze erledigt. Diese kann bis auf 36 m Pflanzenschutz punktgenau applizieren.

Für die Bodenbearbeitung stehen unter anderem 4 Pflüge, darunter sind sowohl Beet- als auch Drehpflüge, und ein 5 m breiter Schwergrubber zur Verfügung. Daneben zählen eine 6 m breite Scheibenegge und ein Tiefenmeißel dazu.

Die Aussaat erfolgt je nach Kultur über eine 6 m breite Scheibensämaschine, 5 4-reihige Kartoffellegemaschinen und eine Einzelkorndrille für Rüben.

Mit 2 gezogenen 4-Tonnen-Streuer kann auf jeweils 36 m Dünger gestreut werden.

Zu der weiteren technischen Ausstattung gehören 2 Teleskoplader, 2 Gabelstapler, diverse Steinsammler, verschiedene Förderbänder und Boxenfüller, außerdem 2 vollständige Kartoffelsortieranlagen, wovon die eine fester Bestandteil einer Halle ist und die andere ortsunabhängig aufgebaut werden kann.

Besonders zu erwähnen ist, dass der Betrieb sich an erneuerbaren Energien in Form von Solarparks beteiligt und QS-zertifiziert ist.

Die Durchschnittserträge und die Anbauverfahren der Kulturen können im nachfolgenden Kapitel erlesen werden.

5.2. Beschreibung und Vergleich der Anbauverfahren auf ökonomischer und ökologischer Ebene

In diesem Kapitel sollen die diversen angebauten Kulturen mit Hilfe des Deckungsbeitrags ökonomisch dargestellt werden. Ebenso wird auf das jeweilige Anbauverfahren eingegangen. Der Deckungsbeitrag wurde hierbei ausgewählt, um nur die für die Produktion wesentlichen und abhängigen Kosten und Leistungen darzustellen. Die Reihenfolge der ausgewählten Kulturen ist komplett willkürlich ausgesucht worden. Im Kapitel 5.3. erfolgt eine Zusammenfassung und Gegenüberstellung der Ergebnisse in der gesamten Fruchtfolge. Die Daten stammen aus der betriebseigenen Ackerschlagkartei und sind somit individuell von den Produktionsprozessen im Betrieb adaptiert.

Die Deckungsbeitragsrechnung ist dabei Teil der Bruttoerfolgsrechnung. Im Speziellen wird sich in dieser Arbeit auf den flächenspezifischen Deckungsbeitrag konzentriert. Die Berechnungsformel nach Mußhoff & Hirschauer (2020, S. 124) ist nachfolgend dargestellt.

$$\text{Deckungsbeitrag der Kultur/ha} = \text{Leistungen der Kultur/ha} - \text{variable Kosten der Kultur/ha}$$

Erkennbar ist, dass sich der Erzeugnisdeckungsbeitrag aus dem Abzug der variablen Kosten von den Leistungen des Erzeugnisses zusammensetzt. Im Nachgang können die restlichen Kosten abgezogen werden, wodurch der Nettoerfolg errechnet wird.

In der Leistungsrechnung der Kulturen bleibt eine Aufrechnung der Agrarförderung außen vor. Gleichzeitig ist der Zinsansatz in den Produktionskosten verrechnet.

5.2.1. Winterweizen

Gestartet wird mit dem Winterweizen. Die Anbaufläche macht im Erntejahr 2022 etwa 22 % der gesamten Anbaufläche aus. In der Tabelle 3 sind wesentliche Werte für die Produktion erkennbar.

Tabelle 3: Deckungsbeitrag Winterweizen

Winterweizen		
Faktor	Wert	Einheit
Menge	25.859,40	dt
Preis	34,03	€/dt
Erlös	879.922,19	€
Fläche	375,04	ha
Ertrag/ha	68,95	dt/ha
Erlös/ha	2.346,37	€/ha
PSM	46,71	€/ha
Dünger	321,37	€/ha
Saatgut	165,19	€/ha
Produktion	245,13	€/ha
Arbeitszeitbedarf	9,41	AKH/ha
Lohnkosten	138,90	€/ha
Deckungsbeitrag	1.429,07	€/ha

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Winterweizen wurde im Erntejahr 2022 auf 375,04 ha angebaut und brachte eine gesamte Erntemenge von 25.859,4 dt hervor. Umgerechnet ergab das einen Ertrag von durchschnittlich 68,95 dt/ha. Zusätzlich wurde der Weizen im Schnitt für 34,03 €/dt verkauft, was einen Erlös je Hektar von 2.346,37 €/ha erzielte. Klassischerweise steht Winterweizen in der betrieblichen Fruchtfolge nach der Zuckerrübenfrührodung, nach späten Kartoffeln oder zum Teil nach Gerste. Hierfür wird in der Regel nicht gepflügt. Da Kartoffeln den Großteil als Vorfrucht ausmachen, wird an dieser Stelle diese angenommen. Dabei wird auf dem ehemaligen Kartoffelacker, mithilfe eines Bodenmeißels, die Fahrgasse im Vorgewende aufgerissen, da diese durch den hohen Verkehr auf dem Schlag meist bis in tiefere Bodenschichten verdichtet wurde. Woher der hohe Verkehr auf dem Kartoffelacker rührt, wird in der Auflistung der Wirtschaftskartoffeln und der Pflanzkartoffeln noch einmal thematisiert. Im Anschluss an das Meißeln beginnt das Grubbern. Zwischen den Arbeitsvorgängen vergehen in der Regel nur wenige Tage, um den Saattermin nicht zu spät in den Spätherbst verlagern zu müssen. Deshalb wird zeitgleich zum Grubbern mit der Aussaat begonnen. Zum Rodeabschluss ist es nicht selten der Fall, dass die Bodenvorbereitung mit Hilfe des Grubbers und die anschließende Aussaat bereits parallel mit auf dem Schlag abläuft und den Rodern direkt folgt. Dies liegt in der geringen Schlagkraft der Roder. Auch bei 4 2-reihigen Rodern ist diese deutlich geringer als die von Grubber und Drillmaschine. Durch das zeitnahe Drillen kann außerdem das Saatkorn in ein noch feuchtes und frisches Saatbett gelegt werden.

Pflanzenschutz und Düngergaben erfolgen identisch zu anderen Kulturen. In den nachfolgenden Tabellen sind die ausgebrachten Dünger und Düngermengen sowie Pflanzenschutzapplikationen ersichtlich.

Tabelle 4: Düngereinsatz Winterweizen inklusive Hektarkosten

Winterweizen					
Mittel	Menge	Einheit	€/l bzw. kg	Kosten	Einheit
MNCU	1	l/ha	13,79	13,79	€/ha
PK	300	kg/ha	0,32	96	€/ha
Domamon	400	kg/ha	0,278	111,2	€/ha
AHL 28	220	kg/ha	0,34	74,8	€/ha
Seaktiv Vital	2	l/ha	12,79	25,58	€/ha

Summe: 321,37 €/ha

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Die Kosten für den Düngereinsatz aller Dünger belaufen sich auf 321,37 €/ha. Die Kosten für die N-Dünger (AHL und Domamon) sind mit den Kosten der restlichen Dünger verrechnet, wodurch nicht nur die Stickstoff-Düngung betrachtet wird, obwohl diese die hauptsächlichen Kosten ergibt.

Der Pflanzschutzeinsatz ist aufgrund der trockenen Witterung nur ein kleinerer Teil der Kosten. Diese belaufen sich auf 46,71 €/ha, wie aus der nachfolgenden Tabelle deutlich wird.

Tabelle 5: Pflanzenschutzmitteleinsatz Winterweizen inklusive Hektarkosten

Winterweizen					
Mittel	Menge	Einheit/ha	€/l bzw. kg	Kosten	Einheit
Sumimax	0,06	kg	373,15	22,39	€/ha
Property	0,25	l	36,55	9,13	€/ha
Regulator	0,8	l	3	2,40	€/ha
Patel	0,35	l	36,55	12,79	€/ha

Summe: 46,71 €/ha

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Insgesamt wurden im Erntejahr nur 4 Mittel gespritzt. Das Herbizid Sumimax stellt die größte Kostenposition dar. Außerdem, wie zu erkennen ist, wurde der Winterweizen aufgrund der Trockenheit und dem dadurch kleineren Wuchshabitus nur einmal mit Wachstumsregler gespritzt.

Zu den Pflegemaßnahmen gehört die Selektion. Diese ist im Getreide aber nicht so zeitaufwendig wie in Kartoffeln. Im Getreide müssen nur artfremde Pflanzen selektiert werden. Der Aufwand ist aufgrund der Fruchtfolgegestaltung deutlich geringer. Die Stromkosten der Pumpstation sind, ebenso wie die variablen Maschinenkosten der verschiedenen

Arbeitsgänge, in den Produktionskosten in der Tabelle 3 zusammengefasst. Der Weizen wurde dreimal mit etwa 20 l/m² berechnet.

Insgesamt wurden 9,41 Akh/ha investiert, um den Winterweizen auf Saatgutqualität zu erzeugen. Auch wird der Weizen nur bedingt gelagert, weshalb kaum Lagerkosten anfallen. So wird das Erntegut sortenrein in Hallen gekippt und wenige Tage später per Teleskoplader auf Lastkraftwagen verladen.

Abzüglich der Lohnkosten, welche die reinen Lohnkosten ohne Lohnnebenkosten sind, beläuft sich der Deckungsbeitrag auf 1.429,07 €/ha.

5.2.2. Wintergerste

Im Vergleich zum Winterweizen wurde die Wintergerste auf nur etwas mehr als der Hälfte der Fläche angebaut. So wurde sie auf 154,73 Hektar ausgedrillt und geerntet mit einem Ertrag von 89,35 dt/ha. Bei einem Preis von 26,57 €/dt resultiert daraus ein Erlös von 2.374,03 €/ha. Diese Werte sind zusammengefasst in der nachfolgenden Tabelle 6 ablesbar.

Tabelle 6: Deckungsbeitrag Wintergerste

Faktor	<u>Wintergerste</u>	
	Wert	Einheit
Menge	13.825,13	dt
Preis	26,57	€/dt
Erlös	367.333,58	€
Fläche	154,73	ha
Ertrag/ha	89,35	dt/ha
Erlös/ha	2.374,03	€/ha
PSM	79,93	€/ha
Dünger	291,17	€/ha
Saatgut	123,76	€/ha
Produktion	338,02	€/ha
Arbeitszeitbedarf	9,79	AKH/ha
Lohnkosten	144,50	€/ha
Deckungsbeitrag	1.396,65	€/ha

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Angebaut wird Wintergerste unter anderem nach Raps, frühen Pflanzkartoffeln oder in Selbstfolge. Zwar sagt die klassische Fruchtfolge die Position nach Winterweizen voraus, allerdings wurde sich hier aus pragmatischen Gründen dagegen entschieden, folgend dem einfachen Prinzip, dass Gerste aus Weizen, aber nicht Weizen aus Gerste selektiert werden kann. Dies liegt darin begründet, dass Gerste schneller höher wächst als Weizen und damit in einem Feld augenscheinlich leichter zu erkennen ist.

Die Bodenbearbeitung fällt unterschiedlich aus. Nach Raps oder Pflanzkartoffeln wird die Gerste pfluglos eingedrillt, wobei auch hier die Drille und der Grubber zeitgleich arbeiten. Im Raps wird die Stoppelbearbeitung durch die Scheibenegge realisiert. Somit konnten Ausfallraps und Unkräuter aufkeimen und anschließend mechanisch eingearbeitet werden. Wenn die Gerste auf besseren Standorten in Selbstfolge steht, dann wird klassischerweise gepflügt, um den Unkrautdruck zu minimieren. Für ein optimales Saatbett wird mit einer 6 m breiten Kreiselegge direkt vor der Aussaat ein feinkrümeliges Saatbett erzeugt.

Dünger und Pflanzenschutzmaßnahmen können den nachfolgenden Tabellen 7 und 8 entnommen werden. Der Düngereinsatz beläuft sich auf eine Gesamtsumme von 291,17 €/ha. Es wurden die gleichen Dünger wie im Winterweizen eingesetzt. Lediglich die Aufwandmengen unterscheiden sich durch die spezifischen Ansprüche der Kultur. So wird auch hier klar, dass die mineralische Stickstoffdüngung am teuersten, aber auch essenziell für den Ertrag ist (Vgl.: Prücklmaier, Hülsbergen, & Maidl, 2016).

Tabelle 7: Düngereinsatz Wintergerste inklusive Hektarkosten

Wintergerste					
Mittel	Menge	Einheit	€/l bzw. kg	Kosten	Einheit
MnCu	1	l/ha	13,79	13,79	€/ha
PK	250	kg/ha	0,32	80,00	€/ha
Domamon	300	kg/ha	0,278	83,40	€/ha
AHL	260	kg/ha	0,34	88,40	€/ha
Seaktiv vital	2	l/ha	12,79	25,58	€/ha

Summe: 291,17 €/ha

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Tabelle 8: Pflanzenschutzmitteleinsatz Wintergerste inklusive Hektarkosten

Wintergerste					
Mittel	Menge	Einheit/ha	€/l bzw. kg	Kosten	Einheit
Pontos	0,5	l	37,35	18,68	€/ha
Sumicidin	0,2	l	22,5	4,50	€/ha
Sumicidin	0,2	l	22,5	4,50	€/ha
Gigant	1	l	44,5	44,50	€/ha
Camposan Top	0,4	l	19,4	7,75	€/ha

Summe: 79,93 €/ha

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Der Pflanzenschutzmitteleinsatz ist anders aufgebaut als der von Winterweizen. Ständen bei Weizen vor allem Unkräuter im Vordergrund, sind es hier die Insekten. Zweimal wurde

Sumicidin gegen die Blattlaus als Virusvektor gespritzt. Mithilfe von Camposan Top wurde die apikale Dominanz, in Form einer Wachstumsreglermaßnahme, gebrochen. Aufgrund von Trockenheit war der Krankheitsdruck eher gering und der Betrieb kam mit einer Fungizidbehandlung aus.

Als weitere Pflegemaßnahme wird ebenso die Gerste selektiert. Dafür sind in der Regel durch geschicktes Vorfruchtmanagement lediglich ein bis zwei Durchläufe nötig. Berechnet wird die Gerste nur in Ausnahmen mit einem Durchgang und 20 l/m².

Die Ernte, Lagerung und Abholung der Gerstenkörner wird genauso wie bei Weizen durchgeführt.

Nach Abzug der Löhne für 9,79 Akh/ha ergibt das einen Deckungsbeitrag von 1.396,65 €/ha. Die erhöhte Anzahl an Arbeitskraftstunden im Vergleich zum Weizen ergibt sich aus dem zusätzlichen Arbeitsgang der Kreiselegge und dem mit weniger Flächenleistung behafteten Pflügen.

5.2.3. Hybridroggen

Tabelle 9: Deckungsbeitrag Hybridroggen

Faktor	Hybridroggen	
	Wert	Einheit
Menge	14.115,85	dt
Preis	35,08	€/dt
Erlös	495.184,07	€
Fläche	157,42	ha
Ertrag/ha	89,67	dt/ha
Erlös/ha	3.145,62	€/ha
PSM	101,52	€/ha
Dünger	284,89	€/ha
Saatgut	285,00	€/ha
Produktion	337,35	€/ha
Arbeitszeitbedarf	9,95	AKH/ha
Lohnkosten	146,50	€/ha
Deckungsbeitrag	1.990,37	€/ha

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Als Hybridroggen wird eine Winterroggensorte vermehrt. Die Vermehrung erfolgt auf 157,42 ha. Bei einem durchschnittlichen Preis von 35,08 €/dt ergibt sich so ein Gesamterlös von 495.184,07 €. Diese Positionen und die variablen Kosten sind in der vorangegangenen Tabelle ablesbar.

Hybridroggen ist ein Elterngemisch. Das bedeutet, dass im Basissaatgut eine Mischung aus Vater- und Mutterlinie enthalten ist. Daher ist auf eine optimale Bodenfeuchte zum Zeitpunkt

der Bestäubung und auf einen ausreichenden Vaterlinienbesatz sehr zu achten. Hierfür wird zum Zeitpunkt der Aussaat ein mindestens ein Meter breiter Streifen aus der reinen Vaterlinie gedrillt. Dieser darf nach Freigabe und in Absprache sortenrein gedroschen werden und darf unter keinen Umständen dem auf der restlichen Fläche geernteten Saatgut beigefügt werden. Sollte die Befruchtung der weiblichen Narbe aufgrund von einer unzureichenden Menge an Pollen nicht funktionieren, bietet die Narbe Platz zur Anlagerung des sogenannten Mutterkornpilzes. Auch muss die Reinheit über mehrfache Selektion sichergestellt werden. Dafür sind in der Regel zwei Durchgänge geplant, um eine mögliche feldinterne Fremdbefruchtung ausschließen zu können.

Die Stellung dieser Kultur in der Fruchtfolge ist unterschiedlich. Auf der einen Seite steht der Hybridroggen nach früh zu rodenden Pflanzkartoffeln, auf der anderen Seite kommt Hybridroggen unter anderem nach Raps. Daher gibt es verschiedene Ansätze der Bodenbearbeitung. Im Pflanzkartoffelbereich werden die Fahrgassen mittels Tiefenlockerer gemeißelt. Nach Raps erfolgen die Unkrautkontrolle und die Stoppelbearbeitung über die Scheibenegge. Nach beiden Verfahren läuft die Grundbodenbearbeitung mittels Schwergrubber und anschließender Einsaat ab. Pflegemaßnahmen sowie gestreuter Dünger sind in den nachfolgenden Tabellen ersichtlich.

Tabelle 10: Düngereinsatz Hybridroggen inklusive Hektarkosten

Hybridroggen					
Mittel	Menge	Einheit	€/l bzw. kg	Kosten	Einheit
PK	250	kg/ha	0,32	80,00	€/ha
Domamon	350	kg/ha	0,278	97,30	€/ha
AHL	260	kg/ha	0,34	88,40	€/ha
Seaktiv vital	1,5	l/ha	12,79	19,19	€/ha

Summe: 284,89 €/ha

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Die Aufschlüsselung der variablen Kosten im Bereich der Düngergabe setzt sich wie folgt zusammen. Es wurden Kosten von 284,89 €/ha über die Ausbringung von Düngemitteln erzeugt. Sowohl PK-Dünger als auch N-Dünger sind die höchsten Kostenpositionen. Seaktiv Vital ist ein Flüssigdüngermix zur Beigabe während der Pflanzenschutzmittelausbringung. Die Trockenstressresistenz und die Nährstoffaufnahme sollen dadurch verbessert werden. Hierbei wird auf Spurenelemente gesetzt. Klassischerweise wird dieses Mittel zu den Biostimulanzien gezählt.

Im Bereich des Pflanzenschutzes ergeben sich Kosten von 101,52 €/ha. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle 11 aufgeschlüsselt.

Tabelle 11: Pflanzenschutzzeinsatz Hybridroggen inklusive Hektarkosten

Hybridroggen					
Mittel	Menge	Einheit/ha	€/l bzw. kg	Kosten	Einheit
Sparviero	0,07	l	57,35	4,01	€/ha
Kaiso Sorbie	0,15	l	24,65	3,70	€/ha
Concert SX	0,14	l	197,61	27,67	€/ha
Padawan Plus	0,9	l	13,55	12,20	€/ha
Elatus Era	1	l	53,95	53,95	€/ha

Summe: 101,52 €/ha

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Daraus geht hervor, dass der Hauptkostenfaktor das Mittel Elatus Era darstellt. Es ist das einzige eingesetzte Fungizid. Im Bereich der Insektizide kamen Sparviero und Kaiso Sorbie zum Einsatz. Concert SX war das einzige Herbizid und mittels Padawan Plus wurde die Wachstumsreglermaßnahme durchgeführt.

Zu beachten ist, dass der Erntezeitpunkt oft mit noch unreifem Stroh zusammenfällt. So haben die Körner bereits die passende Feuchtigkeit, währenddessen das Stroh noch nicht vollständig abreifen konnte. Daher verläuft das Dreschen des Kornes langsamer als bei anderen Getreidearten. Der Restorer, das ist die Vaterlinie außen um das Feld herum, wird dabei nicht als Saatgetreide verkauft, sondern als Brotroggen.

Durch die erschwerten Erntebedingungen, die in der Regel dreimalige Beregnung zu je 20 l/m² und die Besonderheiten bei der Aussaat wird ein Arbeitszeitbedarf von 9,95 Akh/ha nötig. Abzüglich der Lohnkosten ergibt das einen Deckungsbeitrag von 1.990,37 €/ha.

5.2.4. Sommerweizen

Neben den klassischen Getreidewinterungen vermehrt der Betrieb auch Sommergetreide. Im Erntejahr 2022 wurde Sommerweizen auf einer Fläche von 52,46 ha angebaut. Das ergibt einen Gesamterlös ohne Förderung von 91.046,22 €. Bei einer gesamten Erntemenge von 2.904,19 dt bedeutet dies einen durchschnittlichen Ertrag von 55,36 dt/ha. Vergütet wurde der Weizen mit 31,35 €/dt. Somit konnte ein Erlös von 1.735,54 €/ha erzielt werden. Diese Werte sind in der nachfolgenden Tabelle noch einmal aufgelistet.

Tabelle 12: Deckungsbeitrag Sommerweizen

Sommerweizen		
Faktor	Wert	Einheit
Menge	2.904,19	dt
Preis	31,35	€/dt
Erlös	91.046,22	€
Fläche	52,46	ha
Ertrag/ha	55,36	dt/ha
Erlös/ha	1.735,54	€/ha
PSM	26,37	€/ha
Dünger	296,40	€/ha
Saatgut	217,30	€/ha
Produktion	274,11	€/ha
Arbeitszeitbedarf	9,13	AKH/ha
Lohnkosten	134,75	€/ha
Deckungsbeitrag	786,61	€/ha

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Im Bereich der Produktion steht vor dem Sommerweizen in der Regel keine abfrierende Zwischenfrucht, welche der dauerhaften Begrünung des Schrages während des Winters dient. Angebaut wird der Sommerweizen nach späträumenden Kulturen wie Kartoffeln oder Zuckerrüben. Daher ist der Anbau einer Zwischenfrucht aufgrund von ungünstigen Aussaatbedingungen nur eingeschränkt und mit einem höheren Aufwand möglich. Der Boden wird in der Regel noch im Herbst, also nach der Ernte der Vorfrucht, mittels Grubber bearbeitet. Über den Winter wird so ermöglicht, dass Fröste in den locker liegenden Boden einziehen können und sowohl Kluten als auch Schadorganismen ab- und zerfrieren. Im Frühjahr wird im Zusammenspiel mit der Drillmaschine der Boden im ersten Arbeitsgang noch einmal per Grubber gelockert und dann direkt bestellt. Da der Boden keine Zeit hat, zwischen den Arbeitsgängen auszutrocknen, ermöglicht dies eine hohe Restfeuchte im Boden.

Berechnet wird der Sommerweizen bei Bedarf bis zu zweimal. Eine Gabe umfasst in der Regel maximal 20 l/m².

Der Selektionsaufwand in diesem Getreide ist eher als gering anzusehen, da über die Vorfrucht kein Samenpotential nachgeliefert wird und durch die Fröste im Winter mögliche Samen aus den Vorjahren zerfrieren. In der Regel wird mit einem Selektionsdurchgang die Qualität gesichert. Im Bereich der variablen Kosten für Düngemittel liegt der Betrieb, wie die Tabellen 12 und 13 zeigen, bei einem Düngerpreis von 296,40 €/ha. Im Pflanzenschutzinsatz beträgt dieser Wert 26,37 €/ha.

Tabelle 13: Düngereinsatz Sommerweizen inklusive Hektarkosten

Sommerweizen					
Mittel	Menge	Einheit	€/l bzw. kg	Kosten	Einheit
PK	250	kg/ha	0,32	80,00	€/ha
AHL	350	kg/ha	0,34	184,43	€/ha
Seaktiv Vital	2,5	l/ha	12,79	31,97	€/ha

Summe: 296,40 €/ha

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Hauptkostenposition im Bereich der Düngung ist die Stickstoffdüngung mit 184,43 €/ha. Die PK-Düngung ist wesentlich günstiger. Hier wird ein Betrag von 80 €/ha benötigt. Auffällig ist die Menge an Seaktiv Vital. Diese wurde im Vergleich zu den anderen Getreidearten etwas angehoben. Seaktiv Vital soll nach Herstellerangaben die Pflanzen durch ein ausgeklügeltes Mikronährstoffsystem stressresistenter machen und die Blattgesundheit sowie den Ertrag absichern. Zudem wirken die Spurenelemente so, dass die Photosyntheserate erhöht wird. Durch die in diesem Jahr herrschende Trockenheit, geprägt durch ausfallenden Regen im Frühjahr und in den Frühsommermonaten, wurde auf eine erhöhte Stressresistenz gesetzt (Seaktiv Vital, o.D.).

Besonders bei Sommerweizen ist dies in diesem Jahr notwendig gewesen, da der Kultur die Winterentwicklung fehlt, und so kaum bis keine Tiefenwurzeln in der noch feuchten Erde angelegt werden konnten.

Ebenso fiel auch in dieser Kultur durch die wenigen Niederschläge der Pflanzenschutzmitteleinsatz eher geringer aus, wie auch aus der nachfolgenden Tabelle 14 hervorgeht.

Tabelle 14: Pflanzenschutzmitteleinsatz Sommerweizen inklusive Hektarkosten

Sommerweizen					
Mittel	Menge	Einheit/ha	€/l bzw. kg	Kosten	Einheit
Flame	0,025	kg	116,8	2,92	€/ha
Saracen	0,1	l	86,9	8,69	€/ha
Patel	0,2	l	36,55	7,31	€/ha
U 46 M-Fluid	1	l	5,35	5,35	€/ha
CCC720	0,7	l	3	2,10	€/ha

Summe: 26,37 €/ha

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Es kamen insgesamt 5 Mittel zur Anwendung. Das teuerste Mittel war Saracen. Es wurde zusammen mit dem Mittel Flame gespritzt und bildet die erste Herbizidapplikation für den Sommerweizen. Danach kam Patel zusammen mit U 46 M-Fluid und CCC720 zum Einsatz. Durch Patel und CCC720 wird der Halm eingekürzt und die Pflanze gegen pilzliche Erreger

geschützt. U 46 M-Fluid diente der weiteren herbiziden Bekämpfung. So wurde innerhalb von 2 Überfahrten der gesamte Bestand ausreichend bis zur Ernte geschützt.

Abzüglich dieser und anderer Kostenpositionen ergibt das einen Deckungsbeitrag für Sommerweizen von 786,61 €/ha.

5.2.5. Lupinen

Auch die blaue Süßlupine gehört zum Umfang der angebauten Kulturen. Der Betrieb baut sie im Erntejahr 2022 auf 46,07 ha an. Damit konnte ein Umsatz von 44.176,52 € bei einem durchschnittlichen Ernteergebnis von 22,30 dt/ha und einem Preis von 43,00 €/dt erzielt werden.

In der nachfolgenden Tabelle 15 sind die Werte für den Lupinenanbau dargestellt.

Tabelle 15: Deckungsbeitrag Lupinen

<u>Lupine</u>		
Faktor	Wert	Einheit
Menge	1.027,36	dt
Preis	43,00	€/dt
Erlös	44.176,52	€
Fläche	46,07	ha
Ertrag/ha	22,30	dt/ha
Erlös/ha	958,90	€/ha
PSM	62,50	€/ha
Dünger	0,00	€/ha
Saatgut	127,80	€/ha
Produktion	239,76	€/ha
Arbeitszeitbedarf	7,10	AKH/ha
Lohnkosten	105,35	€/ha
Deckungsbeitrag	423,49	€/ha

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Durch den Anbau von Lupinen ist es möglich, den in der Luft vorhandenen Stickstoff in den Knöllchenbakterien der Wurzeln zu sammeln und zu speichern. Dieser gesammelte Stickstoff kann der nachfolgenden Kultur zugutekommen. Deshalb ist hier auch die Düngerwirkung nicht zu vernachlässigen. Neben der Düngerwirkung weist die Lupine eine exzellente Vorfruchtwirkung auf. Vor allem ein tiefdurchwurzelter Boden zählt dazu, wodurch organische Masse in Form von Wurzeln bis in tiefere Bodenschichten reicht (Dierauer, Böhler, Kranzler, & Zollitsch, 2004). Die kann allerdings nur geschätzt werden und fließt somit nicht in die Berechnung ein.

Bevor die Lupine im Frühjahr ausgedrillt wird, ist die Grundbodenbearbeitung durchzuführen. Oft steht die Lupine nach Zuckerrüben oder Kartoffeln. Es würde sich ebenfalls eine

Zwischenfrucht anbieten. Allerdings ist auch hier wieder, bedingt durch die Vorfrucht, die Aussaat nur mit steigendem Aufwand und erhöhten Kosten verbunden. Diese befinden sich vor allem auf Seiten der Aussaatstärke. Sie muss nach oben angepasst werden, um aufgrund der dann bereits kühleren Witterung, noch zu einer ausreichenden Bodenbedeckung zu kommen.

In der Regel erfolgten die Aussaat und die Bodenbearbeitung zeitgleich. Berechnet wird die Lupine nur bei dringendem Bedarf.

Im Bereich der Kulturpflege lässt sich feststellen, dass kein Dünger ausgebracht wird. Auch eine Impfung des Bodens ist aufgrund der angepassten Anbaupausen von etwa 4 Jahren nicht notwendig. Genauso sind die Pflanzenschutzsätze als eher gering zu bewerten. Die nachfolgende Tabelle 16 zeigt, dass es zu zwei Einsätzen kam.

Tabelle 16: Pflanzenschutzsinsatz Lupinen inklusive Hektarkosten

Lupine					
Mittel	Menge	Einheit/ha	€/l bzw. kg	Kosten	Einheit
Stomp Aqua	2,5	l	16,2	40,50	€/ha
Largo	2,5	l	8,8	22,00	€/ha

Summe: 62,50 €/ha

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Die beiden Mittel dienen der Absicherung gegenüber Unkräutern, da Lupinen keine starken Konkurrenten gegenüber Unkräutern darstellen.

Auch in dieser Kultur wird selektiert, damit vermarktbarere Saatware entstehen kann. Die einmalige Begehung reicht aus. Die restliche Selektion erfolgt über die Ernte im Mähdrescher, da dort die Körner der Lupine von anderen Samen gereinigt werden können.

So entsteht ein Arbeitszeitbedarf von 7,10 Akg/ha. Werden diese Kosten vom Erlös abgezogen ergibt sich ein Deckungsbeitrag von 423,49 €/ha.

5.2.6. Winterraps

Für die Region ist es typisch, dass auch Winterraps angebaut wird. Dieser wird allerdings nicht auf Saatgutqualität angebaut, sondern als reguläre Marktware verkauft. Der Betrieb baute die Kultur im Erntejahr 2022 auf 306,34 ha an. Bei einem durchschnittlichen Ertrag von 42,32 dt/ha ergibt das eine geerntete Menge von 12.963,77 dt. Die Erntemenge konnte zu einem Preis von durchschnittlich 64,56 €/dt vermarktet werden. Das ergab einen Erlös von 836.949,36 €. Die Werte können in der nachfolgenden Tabelle 17 nachgelesen werden.

Tabelle 17: Deckungsbeitrag Winterraps

Winterraps		
Faktor	Wert	Einheit
Menge	12.963,77	dt
Preis	64,56	€/dt
Erlös	836.949,36	€
Fläche	306,34	ha
Ertrag/ha	42,31	dt/ha
Erlös/ha	2.731,53	€/ha
PSM	93,90	€/ha
Dünger	295,45	€/ha
Saatgut	136,49	€/ha
Produktion	208,78	€/ha
Arbeitszeitbedarf	8,97	AKH/ha
Lohnkosten	135,15	€/ha
Deckungsbeitrag	1.861,76	€/ha

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Winterraps wird hier komplett pfluglos angebaut. Klassischerweise erfolgt der Anbau von Winterraps auf dem Betrieb unter anderem nach Wintergerste. Die Stoppelbearbeitung durch die Scheibenegge erfolgt direkt nach der Ernte. Danach wird mithilfe eines tieflockernden Grubbergangs das Saatbett bereitet. Im Anschluss daran findet die Aussaat mit der Scheibensämaschine statt. Die Kultur wurde zu einem Preis von 295,45 €/ha gedüngt. Die exakte Auflistung dazu befindet sich nachfolgend. Auch im Raps, welcher sonst pflegebedürftiger ist, wurden weniger Einsätze mit Pflanzenschutzmitteln benötigt. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet.

Tabelle 18: Düngereinsatz Winterraps inklusive Hektarkosten

Winterraps					
Mittel	Menge	Einheit	€/l bzw. kg	Kosten	Einheit
TopFarm B	0,7	l/ha	12,69	8,88	€/ha
ASS	326,89	kg/ha	0,33	107,87	€/ha
PK	400	kg/ha	0,32	128,00	€/ha
AHL	140	kg/ha	0,34	47,60	€/ha
BOR	1	l/ha	3,1	3,10	€/ha

Summe: 295,45 €/ha

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Wie zu erkennen ist, wird viel Wert auf eine gute Borversorgung gelegt. Das zeigen die beiden flüssigen Bordüngemittel. Dennoch machen auch hier die Hauptkosten die PK- und N-Düngung aus. Stickstoff wurde besonders durch den Einsatz von Ammonsulfatsalpeter (ASS) gedeckt. Damit wurde auch die Schwefeldüngung realisiert.

Pflanzenschutztechnisch steht der Raps bei einem Kostenfaktor von 93,90 €/ha. Die Auflistung erfolgt in Tabelle 18.

Tabelle 19: Pflanzenschutzinsatz Winterraps inklusive Hektarkosten

Winterraps					
Mittel	Menge	Einheit/ha	€/l bzw. kg	Kosten	Einheit
Kaiso Sorbie	0,15	kg	24,65	3,70	€/ha
Panarex	0,7	l	10,3	7,20	€/ha
Steficur 250EW	0,3	l	11,25	3,38	€/ha
Sparviero	0,07	l	57,35	4,01	€/ha
Runway	0,2	l	160,95	32,19	€/ha
Stomp Aqua	2	l	16,2	32,40	€/ha
Trebon 30	0,2	l	55,1	11,02	€/ha

Summe: **93,90 €/ha**

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Kaiso Sorbie, Sparviero und Trebon 30 gehören zu der Insektizidstrategie des Betriebes. Panarex, Runway und Stomp Aqua wirken gegen Unkräuter und Ungräser im Raps. Gegen pilzliche Erreger wurde mit Steficur 250 EW einmal behandelt. Gerade die Insektizide zeigten eine sehr gute Wirkung, was ein wiederholtes Nachspritzen überflüssig machte. Durch die Bodentrockenheit wirkten die Herbizide des Voraufbaus nicht vollständig, wodurch eine ausreichende Schutzwirkung nicht gegeben war. In der erneuten Anwendung der Mittel wird dies sichtbar.

Der Arbeitsaufwand beträgt in der Kultur etwa 8,97 Akh/ha. Es ist das Resultat der fehlenden Selektion und der reduzierten Bodenbearbeitung. Raps wird nicht auf dem Betrieb zwischengelagert, sondern zum nächsten Landhandel gefahren und somit direkt aus der Ernte verkauft. Insgesamt kann mit einem Deckungsbeitrag von 1.861,76 €/ha gerechnet werden. Aber es ist zu beachten, dass der Raps einen überdurchschnittlich hohen Erlös aufgrund einer höheren Erntemenge und einem besonders guten Preis erzielen konnte. In der Regel fällt der Deckungsbeitrag etwas niedriger aus. Für die Vergleichbarkeit und wegen der Aktualität der Werte müssen hier, wie bei allen anderen beleuchteten Kulturen, die Werte dieses Erntejahres berücksichtigt werden, auch wenn der „Normalfall“ etwas anders ausfällt.

5.2.7. Zuckerrüben

Der Beispielbetrieb ist schon sehr lange fester Vertragspartner bei der Zuckerfabrik in Anklam. So wurden auch im Erntejahr 2022 auf etwa 103 ha Zuckerrüben angebaut. Hierfür konnte ein Ertrag von durchschnittlich 640 dt/ha erzielt werden. Bei einem Verkaufspreis von 3,16 €/dt ergibt das einen Erlös von 2.022,40 €/ha, wie auch aus der nachfolgenden Tabelle 20 hervorgeht.

Tabelle 20: Deckungsbeitrag Zuckerrüben

Zuckerrüben		
Faktor	Wert	Einheit
Menge	66.137,60	dt
Preis	3,16	€/dt
Erlös	209.127,09	€
Fläche	103,34	ha
Ertrag/ha	640,00	dt/ha
Erlös/ha	2.022,40	€/ha
PSM	364,88	€/ha
Dünger	198,20	€/ha
Saatgut	301,00	€/ha
Produktion	573,41	€/ha
Arbeitszeitbedarf	9,89	AKH/ha
Lohnkosten	149,15	€/ha
Deckungsbeitrag	435,76	€/ha

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Im Vergleich zu den bisher behandelten anderen Kulturen weist der Zuckerrübenanbau in jedem Punkt der variablen Betriebskosten hohe bis sehr hohe Werte auf. So kostet allein das Saatgut schon 301 €/ha. Gedüngt wurde die Zuckerrübe, wie aus nachfolgender Grafik 21 ersichtlich, mit verschiedenen Düngern, welche einen Gesamtwert von 198,20 €/ha haben. Die benötigten Pflanzenschutzmittel können der nachfolgenden Grafik entnommen werden und belaufen sich dabei auf einen Gesamtkostenfaktor von 364,88 €/ha.

Tabelle 21: Düngereinsatz Zuckerrüben inklusive Hektarkosten

Zuckerrüben					
Mittel	Menge	Einheit	€/l bzw. kg	Kosten	Einheit
PK	250	kg/ha	0,32	80,00	€/ha
AHL	260	kg/ha	0,34	88,40	€/ha
Starter	2	l/ha	14,9	29,80	€/ha

Summe: 198,20 €/ha

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

PK- und N-Dünger verursachen hier die größten Kosten. Starter ist ein Mittel, das zusammen mit Pflanzenschutzmitteln appliziert werden kann und die Pflanzen widerstandsfähiger

gegenüber Stress machen soll. Ganz gezielt soll das Wurzelwachstum angeregt werden (Fertiactyl Starter, o.D.).

Im Bereich des Pflanzenschutzes ist in der nachfolgenden Tabelle 22 eine Auflistung über alle ausgebrachten Mittel zu finden.

Tabelle 22: Pflanzenschutzinsatz Zuckerrüben inklusive Hektarkosten

Zuckerrüben					
Mittel	Menge	Einheit/ha	€/l bzw. kg	Kosten	Einheit
Helosate	3,25	l	12,7	41,28	€/ha
Oblix	0,5	l	11,2	5,60	€/ha
Betasana	1,5	l	9,15	13,72	€/ha
Glotron	2	l	20,65	41,30	€/ha
Kantor	0,3	l	24,68	7,40	€/ha
Betanala	2	l	11,2	22,40	€/ha
Oblix	0,5	l	11,2	5,60	€/ha
Glotron	2	l	20,65	41,30	€/ha
Debut	0,03	l	106,7	3,20	€/ha
Kantor	0,3	l	24,68	7,40	€/ha
Betanala	2	l	11,2	22,40	€/ha
Glotron	1	l	20,65	20,65	€/ha
Lontrel	0,2	l	214,95	42,99	€/ha
Kantor	0,5	l	24,68	12,34	€/ha
Difcor	0,4	l	51,15	20,46	€/ha
Score	0,4	l	71,05	28,42	€/ha
Score	0,4	l	71,05	28,42	€/ha

Summe: 364,88 €/ha

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Da den Zuckerrüben in der Fruchtfolge klassischerweise eine Zwischenfrucht vorangestellt ist, wird auf ein Glyphosatmittel zurückgegriffen, um diese sicher absterben zu lassen. Als Vorfrucht kam in diesem Fall die Kartoffel zum Tragen. Ein Problem stellen die auf dem Feld verbliebenen Kartoffeln dar, wodurch mit insgesamt 11 Herbiziden gearbeitet wurde. Um deren Wirkung zu verbessern, kam zusätzlich noch Kantor als Haftadditiv zum Einsatz. Gegen Ende der Vegetation wurden drei Fungizide, Difcor und zweimal Score, angewandt.

Auch die Zuckerrüben werden nicht auf Vermehrungsbasis angebaut. Es werden lediglich bei Bedarf die Schosserrüben gezogen, um ein Aussamen auf der Fläche zu verhindern. Durch das Beregnen mit dreimal 25 l/m² kommt es zu einem Arbeitszeitbedarf von 9,89 Akh/ha. Abzüglich aller variablen Kosten bleiben von einst rund 2.022,40 €/ha noch 435,76 €/ha übrig.

5.2.8. Pflanzkartoffeln

Der Betrieb galt eine lange Zeit als der größte Pflanzkartoffelvermehrungsbetrieb in Mecklenburg-Vorpommern. Heute ist er immer noch der größte in Vorpommern. Das Vermehrungsgut wird auf etwa 142,32 ha angebaut. Dutzende Sorten und Anbaustufen stehen auf mehreren Schlägen, durch Trennreihen voneinander abgegrenzt, dicht an dicht. Das erfordert im Vergleich zu anderen Kulturen einen enormen Mehraufwand administrativer Planung und Durchführung. So sollten beispielsweise besonders früh zu rodende Sorten auf den Vorgewenden stehen, um Platz zum Drehen der Maschinen beim Roden der restlichen Sorten zu schaffen. Ebenso ist der Pflanzenschutz durch die unterschiedlichen Sorten stark terminiert und kann besonders im Bereich der Sikkation auf teilflächenspezifische Prozesse hinauslaufen. Zudem muss die Berechnungsplanung durch eine kurze, stark terminierte Vegetationsperiode exakt funktionieren. Es darf weder zu lang noch zu stark beregnet werden. So reichen bereits zwei gut getaktete Maßnahmen aus. Bei schlechtem Berechnungsmanagement ist die Wahrscheinlichkeit größer, dass die Kartoffel noch einmal neu ansetzt. Dies führt zu Lagerproblemen und vergrößert die Menge, welche beim Sortieren ausgemustert wird. Gleichzeitig kommen mehr Erdkluten ins Lager, oder aber das Kraut bleibt zu lange grün oder lässt sich schwer durch Sikkationsmaßnahmen abtöten.

Die durchschnittlichen Erträge im Pflanzkartoffelbereich sind sehr stark sortenabhängig, können aber für die Ernte 2022 mit 226 dt/ha angenommen werden. Wie aus der nachfolgenden Abbildung 23 ersichtlich, ergibt das eine gesamte Erntemenge von 32.164,32 dt.

Tabelle 23: Deckungsbeitrag Pflanzkartoffeln

Faktor	Pflanzkartoffel	
	Wert	Einheit
Menge	32.164,32	dt
Preis	27,21	€/dt
Erlös	875.268,70	€
Fläche	142,32	ha
Ertrag/ha	226,00	dt/ha
Erlös/ha	6.150,00	€/ha
PSM	298,78	€/ha
Dünger	567,59	€/ha
Saatgut	1.227,28	€/ha
Produktion	1.910,15	€/ha
Arbeitszeitbedarf	128,73	AKH/ha
Lohnkosten	1.878,08	€/ha
Deckungsbeitrags	268,13	€/ha

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Die Kartoffeln werden in Abhängigkeit der Sorte und des Züchters zu unterschiedlichen Preisen vermarktet. Ein gemittelttes Ergebnis aus allen verkauften Mengen und den dazugehörigen Erlösen ergibt einen Preis von 27,21 €/dt. Bei einem durchschnittlichen Ernteergebnis von 226 dt/ha bedeutet dies einen Erlös von 6.150,00 €/ha. Das unterschiedliche und in großer Menge neu zugekaufte Pflanzgut kostet den Betrieb 1.227,28 €/ha. Die Produktionskosten liegen bei 1.910,15 €/ha. Produziert werden Pflanzkartoffeln nicht selten nach Raps. Hierfür wird der Rapsacker mit der Scheibenegge bearbeitet und im Anschluss daran wird eine Winterfurche gepflügt, um ein optimales Saatbett in feinkrümeliger Struktur zu erzeugen. Durch Vorhäufeln und Nachhäufeln werden die Dämme geformt und in Form gehalten. Das Legen erfolgt zwischen diesen Arbeitsschritten und muss logistisch bestens geplant sein, damit ein sortenreiner Aufwuchs gewährleistet ist. So werden die Kartoffeln von der Lagerhalle direkt zum Feld gefahren und dort gelegt. Das Steinesammeln ist in diesem Wirtschaftszweig von essenzieller Bedeutung und dementsprechend wird viel Arbeitszeit hineingesteckt. Die Düngung erfolgt in der Regel noch vor dem Auflaufen. In der nachfolgenden Tabelle können die Düngemittel und Mengen entnommen werden.

Tabelle 24: Düngereinsatz Pflanzkartoffeln inklusive Hektarkosten

Pflanzkartoffel					
Mittel	Menge	Einheit	€/l bzw. kg	Kosten	Einheit
Horti	600	kg/ha	0,84	505,80	€/ha
AHL	125	kg/ha	0,49	61,79	€/ha

Summe: 567,59 €/ha

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Horti ist ein spezieller Kartoffeldünger, welcher auf Patentkali beruht. Damit werden 30 kg Stickstoff je Hektar gedüngt. Durch seinen 5 % N-Anteil ergibt dies 600 kg/ha. Die Düngergaben kosten insgesamt 567,59 €/ha.

Die Kosten für die Pflanzenschutzmittel betragen 298,78 €/ha. Wie diese sich zusammensetzen, kann aus der nachfolgenden Tabelle 25 entnommen werden.

Hier ist erstmals ein Beizmittel aufgeführt. Moncut wird direkt an der Legemaschine auf die Knolle aufgebracht. Die restlichen Mittel ergeben vor allem eine Mischung aus Insektiziden und Fungiziden. Insektizide sind besonders wichtig, da Blattläuse als Virusvektor zu beachten sind. Die Fungizide helfen vor allem gegen Kraut- und Knollenfäule sowie gegen Alternaria-Arten. Die abschließenden Mittel dienen der Sikkation der Kartoffelpflanze. Die Sikkation mit zusätzlichem Krautschlagen ist wichtig, da ansonsten die eigentlich noch wachsen wollende Kartoffel nicht schalenfest und somit nicht lagerstabil wird. Allerdings darf nicht bis zum Ende

der Wachstumsperiode gewartet werden, da die Kartoffeln nur eine genormte Größe erreichen sollen. Diese Normalsortierung umfasst in der Regel einen Durchmesser von 35 – 55 mm.

Tabelle 25: Pflanzenschutzinsatz Pflanzkartoffeln inklusive Hektarkosten

Pflanzkartoffeln					
Mittel	Menge	Einheit/ha	€/l bzw. kg	Kosten	Einheit
Moncut	0,5	l	87,45	43,725	€/ha
Proman	2	l	23,3	46,60	€/ha
Sumicidin	0,3	l	22,15	6,65	€/ha
Carial Flex	0,5	kg	50,7	25,35	€/ha
Sumicidin	0,2	kg	22,15	4,43	€/ha
Baruka	2	kg	9,75	19,50	€/ha
Carial Flex	0,5	kg	50,7	25,35	€/ha
Teppeki	0,15	l	163,25	24,49	€/ha
Omix	2	l	13,15	26,30	€/ha
Mospilan	0,25	g	70,85	17,71	€/ha
Carneol	0,35	l	26,6	9,31	€/ha
Shock Down	0,15	l	29,65	4,45	€/ha
Narita	0,5	l	31,9	15,95	€/ha
Quickdown	0,8	l	19,1	15,28	€/ha
Kantor	0,5	l	27,39	13,70	€/ha
Toil	2	l	0	0,00	€/ha

Summe: 298,78 €/ha

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Im weiteren Verlauf der Kartoffelproduktion wird selektiert, sobald die ersten Kartoffelpflanzen deutlich aus der Erde gucken. Die Selektion erfolgt im Hinblick auf Schwarzbeinigkeit, Kümmerer, virusinfizierte Pflanzen und artfremde Pflanzen. Das Vorgehen erlernen die Arbeitskräfte über Schulungen. Ebenso muss selektiert werden, um eine Sortenreinheit gewährleisten zu können. Zudem darf das spätere Pflanzgut, je nach Anbaustufe nur einen gewissen Anteil an Virus enthalten. Dieser wird im Labor durch den PCR-Test ermittelt. Während der Vegetationsperiode durchläuft jedes Vermehrungsvorhaben zwei Feldbestandsprüfungen, um die vorgegebene Qualität behördlich zu sichern.

Das Selektieren ist mit einem enormen Arbeitsaufwand verbunden. 11 Saisonkräfte über zwei Monate sind permanent damit beschäftigt, die Pflanzen zu selektieren.

Berechnet wird in der Regel zwei-, während extremer Dürre, auch dreimal. Je nach vorhandener organischer Vegetationsmasse kommen zwischen 20 l/m² und 30 l/m² infrage.

Die Ernte erfolgt über das Roden. Auf jedem Roder fahren neben dem Fahrer noch zwei bis drei Saisonkräfte mit und reinigen das Rodegut vor. Die gerodeten Kartoffeln werden vom Roder auf Anhänger in die darauf befindlichen sogenannten Paletten übergeladen. Die Kartoffeln werden danach zentral in einer Sortier- und Lagerhalle gesammelt und aufbewahrt. Das Reinigen und das Sortieren in die einzelnen Größen findet im Frühling des neuen Jahres statt. Dafür können ebenso wie bei der Selektion zwei Monate angenommen werden. Nach der Lagerung wird die Ware von den Landwirten selbst oder von Speditionen abgeholt. Ein Teil davon bleibt für die eigene Weitervermehrung oder dem Wirtschaftskartoffelanbau im Lager zurück und wird selbst ausgepflanzt. Durch den hohen Selektions- und Sortieraufwand beläuft sich der Arbeitskraftbedarf auf 128,73 Akh/ha. Dadurch werden Kosten von 1.878,08 €/ha abgerufen.

Nach Abzug aller variablen Kosten verbleibt ein Deckungsbeitrag von 268,13 €/ha.

5.2.9. Wirtschaftskartoffeln

Als Wirtschaftskartoffeln werden alle Kartoffeln bezeichnet, die der Weiterverarbeitung in Stärke- oder Verarbeitungsindustrien zugeführt werden. Um plausible Werte der Faktoren zu erhalten, werden gewichtete Mittelwerte von Erlösen und Erträgen angenommen. Das ist möglich, da die Bewertung der Knollen sehr ähnlich bis nahezu gleich abläuft und lediglich die Verwertungslinie ein prägnantes Unterscheidungsmerkmal ist.

Angebaut wurde diese Art von Kartoffeln auf 347,53 ha. Bei einer produzierten Menge von 150.132,96 dt betrug der Erlös 1.896.179,28 €. Durchschnittlich konnte die Ware zu einem Preis von 12,63 €/dt verkauft werden. Der nachfolgenden Tabelle 26 ist zu entnehmen, dass der Erlös im Erntejahr 2022 bei 5.456,16 €/ha lag.

Im Bereich der variablen Kosten ist auffällig, dass der Saatgutpreis je Hektar niedriger ausfällt als bei Vermehrungskartoffeln. Begründet werden kann das mit der Entnahme von Pflanzgut aus den ehemaligen Vermehrungsbeständen. Sie wurden also auf dem Betrieb bereits in der vorherigen Vegetationsperiode als Vermehrungskartoffeln angebaut und werden nun wieder als Wirtschaftskartoffeln angepflanzt. Hierdurch kommen Kosten in Höhe von 694,30 €/ha zusammen. Diese entstehen zum einen aus Lizenzgebühren, welche dem jeweiligen Züchter entrichtet werden müssen und zum anderen aus dem Preis für den Anteil an neu zugekauftem Pflanzgut.

Tabelle 26: Deckungsbeitrag Wirtschaftskartoffeln

Wirtschaftskartoffeln		
Faktor	Wert	Einheit
Menge	150.132,96	dt
Preis	12,63	€/dt
Erlös	1.896.179,28	€
Fläche	347,53	ha
Ertrag/ha	432,00	dt/ha
Erlös/ha	5.456,16	€/ha
PSM	385,56	€/ha
Dünger	757,63	€/ha
Saatgut	694,30	€/ha
Produktion	1.609,41	€/ha
Arbeitszeitbedarf	18,38	AKH/ha
Lohnkosten	279,45	€/ha
Deckungsbeitrag	1.729,80	€/ha

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Gedüngt wird die Wirtschaftskartoffel zu einem gesamten Preis von 757,63 €/ha mit Horti, AHL, Final K und TopFarm MNZN. Aus der nachfolgenden Tabelle 27 können die Kosten dafür entnommen werden.

Tabelle 27: Düngereinsatz Wirtschaftskartoffeln inklusive Hektarkosten

Wirtschaftskartoffeln					
Mittel	Menge	Einheit	€/l bzw. kg	Kosten	Einheit
Horti	580,87	kg/ha	0,843	489,67	€/ha
AHL	420	kg/ha	0,49	205,80	€/ha
Final K	2	kg/ha	3,5	7,00	€/ha
TopFarm MNZN	4	l/ha	13,79	55,16	€/ha

Summe: 757,63 €/ha

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Da es im Wirtschaftskartoffelbereich, anders als bei Vermehrungskartoffeln, auch auf die Inhaltsstoffe ankommt, wird Final K und TopFarm MNZN gedüngt. Sie sollen neben dem Stickstoff, die Photosyntheseleistung bis ins späte physiologische Alter hochhalten. Damit sind hohe Stärkewerte und hohe Knollengewichte erzielbar. Eine ausreichende Versorgung an Kalium bewirkt, dass die Kartoffel besser lagerfähig wird und es folglich zu weniger Lagerverlusten kommt.

Gepflanzt wird die Wirtschaftskartoffel unter anderem nach Winterweizen oder nach Sommerweizen. Jedoch wird nur die Hälfte der Anbaufläche mit Zwischenfrüchten im Voraus bestellt. Die andere Hälfte wird mittels Winterfurche bearbeitet. Beim Pflanzen ist die Sortenreinheit nicht so ausschlaggebend wie bei der Vermehrung, dennoch sollte es auch hier für die einzelnen Verarbeitungsrichtungen zu keinen gravierenden Sortenmischungen mit

unterschiedlichen Inhaltsstoffen und Farben kommen. Andernfalls führt das zu Verarbeitungsproblemen in der Fabrik.

Horti und AHL werden vor Vegetationsbeginn ausgebracht. Topfarm MNZN und Final K, werden als Blattdünger im späteren Vegetationsverlauf appliziert.

Die Kultur muss nicht selektiert werden. Der hohe Personalaufwand steckt in der Beregnung und den häufigen Pflanzenschutzanwendungen. Ebenso geht das Pflanzen und Ernten langsamer als bei anderen Kulturen vonstatten. Dies ist in der Pflanz- und Erntemenge je Hektar begründet.

Die Kultur wird im Bereich des Pflanzenschutzes mit Mittelkombinationen zu einem Preis von 385,56 €/ha geschützt. In der nachfolgenden Tabelle 28 sind die einzelnen Mittel und Aufwandmengen aufgeführt.

Tabelle 28: Pflanzenschutzinsatz Wirtschaftskartoffeln inklusive Hektarkosten

Wirtschaftskartoffel					
Mittel	Menge	Einheit/ha	€/l bzw. kg	Kosten	Einheit
Helosate	3,23	l	6,15	19,86	€/ha
Moncut	0,5	l	87,45	43,73	€/ha
Proman	2	l	23,3	46,60	€/ha
Rimuron	0,05	kg	89	4,45	€/ha
Mistral	0,5	kg	30,05	15,03	€/ha
Carial Flex	0,5	kg	50,7	25,35	€/ha
Cato	0,05	kg	118,3	5,92	€/ha
Sencor Liquid	0,6	l	41,4	24,84	€/ha
Revus Top	0,5	l	54	27,00	€/ha
Teppeki	0,125	g	163,25	20,41	€/ha
Omix Duo	2	l	13,15	26,30	€/ha
Narita	0,5	l	31,9	15,95	€/ha
Carneol	0,4	l	26,6	10,64	€/ha
Carneol	0,4	l	26,6	10,64	€/ha
Carneol	0,4	l	26,6	10,64	€/ha
Ranman TOP	0,4	l	48,05	19,22	€/ha
Ranman TOP	0,3	l	48,05	14,42	€/ha
Shark	0,5	l	45,35	22,68	€/ha
Quickdown	0,8	l	18,13	14,50	€/ha
Kantor	0,3	l	24,68	7,40	€/ha

Summe: 385,56 €/ha

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Wie zu erkennen ist, wurde auch hier wieder die Beizung eingesetzt. Neben wenigen Herbiziden ist der fungizide Aufwand bei den Kartoffeln deutlich größer als bei der Vermehrungsware. Dies hängt mit der langen Vegetationsperiode zusammen. Das Blatt muss

so lange wie möglich grün gehalten werden, damit die Pflanzen möglichst lange Stärke in den Knollen einlagern können. Außerdem sind Fungizide bei berechneten Flächen stärker vertreten, da durch die ständig wiederkehrende Feuchte, zusammen mit Wärme, das pilzliche Infektionsgeschehen deutlich erhöht ist.

Die Ernte erfolgt mittels Roder, die auf normale Anhänger das Erntegut übergeben. Auch hierbei wird die Ware durch Saisonkräfte auf den Rodern vorgereinigt. Anschließend werden die Kartoffeln auf Annahmewannen abgeladen und über Förderbandsysteme in belüftete Hallen transportiert. Über das ganze Jahr hinweg wird die Wirtschaftskartoffel beinahe täglich ausgelagert und mittels Spedition abgeholt. Durch den Anbau der Kultur entsteht ein Arbeitsaufwand von 18,38 Akh/ha. Dieser Aufwand kostet den Betrieb 279,45 €/ha. Nach Abzug aller variablen Kosten entsteht so ein Deckungsbeitrag für die Kultur von 1.729,80 €/ha.

5.3. Analyse der Fruchtfolge

In diesem Kapitel wird die aktuelle Fruchtfolge sowohl auf ökonomischer als auch ökologischer Basis analysiert. Zunächst muss der Zweck von Fruchtfolgen dargelegt werden und wonach sich deren Zusammenstellung richtet. In diesen Zusammenhang gehört der Begriff der Anbaupausen. So wird als Anbaupause die Zeitspanne zwischen erstmaligem Auspflanzen einer Kultur und dem erneuten Auspflanzen der gleichen Kultur bezeichnet (Lauenstein, 2006).

Es gibt, je nach Kultur, verschiedene Anbaupausen. In dieser Arbeit soll im Besonderen die Pflanzkartoffel Fruchtfolge angeschaut werden, da durch die große Anbaufläche eine exakte Anbaupause eingehalten werden muss, um dem natürlich vorkommenden starken Abbau entgegenzuwirken und den Selektionsaufwand in Pflanzkartoffeln niedrig zu halten. Als Abbau wird die Verringerung an Kartoffelpflanzen durch die Häufung von Krankheiten, Schädlingen, wie Nematoden, und Krebs bezeichnet. Bereits 1989 wurde eine Anbaupause von drei bis vier Jahren empfohlen. Gute Vorfrüchte von Kartoffeln sind alle Pflanzen, die über ein besonders ausgeprägtes Wurzelsystem verfügen und den Boden in einem lockeren Zustand hinterlassen (Putz, Kartoffeln: Züchtung - Anbau - Verwertung, 1989).

Außerdem kann der Vorfruchtwert der Kartoffel durch den Anbau von Zwischenfrüchten verbessert werden. Sehr gut eignen sich abfrierende Zwischenfrüchte. Der Vorfruchtwert der Kartoffel ergibt sich aus der hohen Beschattungsleistung des Ackers, wobei dieser in einem sehr guten Gare-Zustand hinterlassen wird. Darüber hinaus ist der Unkrautdruck sehr oft nach Kartoffeln stark vermindert. Für den Anbau von Getreide als Folgefrucht ist eine pfluglose Bestellung möglich. Dennoch kann es zu Problemen mit Durchwuchskartoffeln in der Folgekultur kommen. Gleichzeitig ist durch die wenigen Ernterückstände ein Humusabbau die Folge (Schuhmann, 2020).

Um die Anzahl an Nematoden im Boden und die Anzahl an belasteten Böden nicht weiter zu erhöhen, wurde durch die EU festgelegt, dass Pflanz- und Speisekartoffeln nicht auf mit Nematoden behafteten Böden gepflanzt werden dürfen (van Loon & Hammink, 2013).

Im Vorfeld der Pflanzung muss eine Nematoden-Unbedenklichkeitsbescheinigung erfolgen. Dafür werden Erdproben genommen und näher untersucht (Pflanzenschutzdienst - Anerkennungsstelle für Saat- und Pflanzgut, 2016).

Durch die führenden Züchtungsunternehmen ist nun die vierjährige Anbaupause beschlossen. Daher gilt es die eigenen Fruchtfolgen auf die entsprechende Anbaupause zu überprüfen und eventuell Veränderungen vorzunehmen. In diesem Kapitel wird der aktuelle Zustand der Fruchtfolge überprüft und abgebildet. Der Betrieb nutzt für verschiedene Kulturen und Anbauregionen unterschiedliche Fruchtfolgen. Im Verlauf der Ausarbeitung dieser Arbeit hat der Betrieb sich auf eine 4-jährige Anbaupausengestaltung festgelegt. Diese wird in den Vergleich zur vorher gängigen 3-jährigen Anbaupause gezogen.

5.3.1. 3-jährige Anbaupause

Ausgegangen wird von der veralteten 3-jährigen Anbaupause, die in der nachfolgenden Tabelle 29 dargestellt ist.

Tabelle 29: Auflistung der Kennzahlen gruppiert nach Kultur für die Fruchtfolge mit 3 Jahren Anbaupause

Fruchtfolge - 3 Jahre Anbaupause						
Faktor	Einheit	PK	WG	WW	WR	Durchschnitt
Erlös	€/ha	6.150,00	2.374,03	2.346,37	2.731,53	3.400,48
variable Kosten	€/ha	3.917,92	777,80	726,72	687,70	1.527,53
Zeitbedarf	AKH/ha	128,73	9,79	9,41	8,97	39,23
Lohnkosten	€/ha	1.878,08	144,50	138,90	135,15	574,16
Deckungsbeitrag	€/ha	268,13	1.396,65	1.429,07	1.861,76	1.238,90
Summe THG	kg CO2e/ha	6.807,81	2.141,81	2.243,37	2.615,16	3.452,04
CO2 - Fußabdruck	kg CO2e/kg TM	1,37	0,28	0,38	0,68	0,68
Humus	HÄ/ha	-1.000,00	37,81	-13,88	103,49	-218,14
CO2-Betrag	€/ha	-204,23	-64,25	-67,30	-78,45	-103,56

Quelle: Betriebsdaten, eigene Darstellung und Weiterrechnung

Aus der Abbildung können für jedes Fruchtfolgeglied individuell kategorisierte Werte entnommen werden. Erkennbar ist, dass den größten Erlös, die höchsten variablen Kosten, die höchsten Lohnkosten, den höchsten Zeitbedarf und die höchste Treibhausgasemission dabei Pflanzkartoffeln haben. Trotz des hohen Erlöses erreicht die Pflanzkartoffel den geringsten Deckungsbeitrag. Auch im Bereich der Humusbildung wird deutlich, dass die Kartoffel als Starkzehrer 1.000 HÄ/ha abbaut. Durch den hohen Zeitbedarf, welcher vor allem durch den Einsatz von Maschinen realisiert wird, entstehen auch wiederum die meisten Treibhausgase.

Durch den Anbau von Pflanzkartoffeln werden 6.807 kg CO₂e ausgestoßen. Setzt man diesen Wert in Bezug zur gesamten Fruchtfolge, macht der Treibhausgasausstoß in Kartoffeln 49 % der gesamten Treibhausgasemissionen der gesamten Fruchtfolge aus.

Dementgegen steht der Winterraps mit dem zweithöchsten Erlös und dem niedrigsten variablen Kostenfaktor. Dadurch kann mit dem Anbau von Winterraps der höchste Deckungsbeitrag erzielt werden. Außerdem kann im Vergleich zur Pflanzkartoffel 103 HÄ/ha aufgebaut werden. Der Anbau von Wintergerste und Winterweizen ist in den Werten als relativ ähnlich zu beurteilen. So liegt der Deckungsbeitrag für Gerste bei 1.396,65 €/ha und für Winterweizen bei 1.429,07 €/ha. Ausschlaggebend im Bereich des Humus ist lediglich, dass aufgrund der geringeren Erntemenge im Weizen, dieser als Zehrer einzustufen ist. Kann das Ertragspotential erhöht werden, so kann auch mit Winterweizen ein Humusaufbau verzeichnet werden. Momentan liegt der Humusabbau im Winterweizen bei 13,88 HÄ/ha.

Zusammenfassend wird durchschnittlich ein Erlös von 3.400,48 €/ha erzielt. Ebenso kann aus der Tabelle 29 entnommen werden, dass der Deckungsbeitrag, trotz des niedrigen Wertes der Pflanzkartoffel, 1.238,90 €/ha beträgt.

Der CO₂-Fußabdruck liegt, aufgrund des durchschnittlichen Ausstoßes von 3.452,04 kg CO₂e/ha, bei 0,6764 kg CO₂e/kg TM /ha. Wegen des generellen Pflanzkartoffelanbaus kann kein Humusaufbau generiert werden. So wird je Hektar durchschnittlich 218 HÄ abgebaut.

5.3.2. Betriebseigene 4-jährige Anbaupause

In diesem Kapitel soll geklärt werden, wie der Betrieb die Anpassung an die Fruchtfolgeveränderungen vollzogen hat. Weiterhin soll überprüft werden, ob durch die Hinzunahme von einer weiteren Kultur die Humuswirkung der Pflanzkartoffel abgemildert und ein Humusaufbau realisiert werden kann. Zeitgleich soll festgestellt werden, ob die Treibhausgasbilanz durch die CO₂-Bindung in der Pflanze gemindert werden kann, damit ein ökologischer Vorteil entsteht. Ökonomisch wird überprüft, ob durch eine weitere Kultur der Deckungsbeitrag steigen kann und die Fruchtfolge somit ökonomisch wertvoller wird.

Tabelle 30: Auflistung der Kennzahlen gruppiert nach Kultur für die Fruchtfolge mit 4 Jahren Anbaupause

Fruchtfolge - betriebseigene 4 Jahre Anbaupause							
Faktor	Einheit	PK	WG	WR	WG	WR	Durchschnitt
Erlös	€/ha	6.150,00	2.374,03	2.731,53	2.374,03	2.731,53	3.272,23
variable Kosten	€/ha	3.917,92	777,80	687,70	777,80	687,70	1.369,78
Zeitbedarf	AKH/ha	128,73	9,79	8,97	9,79	8,97	33,25
Lohnkosten	€/ha	1.878,08	144,50	135,15	144,50	135,15	487,48
Deckungsbeitrag	€/ha	268,13	1.396,65	1.861,76	1.396,65	1.861,76	1.356,99
Summe THG	kg CO2e/ha	6.807,81	2.141,81	2.615,16	2.141,81	2.615,16	3.264,35
CO2 - Fußabdruck	kg CO2e/kg TM	1,37	0,28	0,68	0,28	0,68	0,66
Humus	HÄ/ha	-	37,81	103,49	37,81	103,49	-143,48
CO2-Betrag	€/ha	-204,23	-64,25	-78,45	-64,25	-78,45	-97,93

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Die durch den Betrieb veränderte Fruchtfolge für die Pflanzkartoffel sieht dabei wie folgt aus (Vgl.: Tabelle 30). In einer funktionierenden Fruchtfolge müssen alle Fruchtfolgeglieder einen ähnlichen Anbauumfang haben, um ein Rotieren in gleichbleibenden Anbauumfängen zu gewährleisten. Daher werden die Größenordnungen der betrachteten Faktoren in den nachfolgenden Tabellen anhand eines Anbauumfangs je Kultur von einem Hektar plakativ aufgezeigt. So besteht die Fruchtfolge aus 4 Jahren Pflanzkartoffelanbaupause und 3 Fruchtfolgekulturen. Die Kulturen werden, wie im Abkürzungsverzeichnis aufgeführt, abgekürzt.

Die Tabelle 30 zeigt eine Zusammenfassung wesentlicher Kennzahlen der Fruchtfolge von Pflanzkartoffeln mit 4 Jahren Anbaupause. Nach Pflanzkartoffeln werden im Wechsel Wintergerste und Winterraps angebaut.

Mit weitem Abstand ist die Pflanzkartoffel in dieser Fruchtfolge am arbeitsintensivsten. Dabei fallen 128,73 Akh/ha für die Bewirtschaftung an. Demgegenüber benötigt Raps 8,97 Akh/ha und Wintergerste 9,79 Akh/ha.

Die 4-jährige Anbaupause in Pflanzkartoffeln weist durch den verstärkten Anbau von Winterraps eine Bilanz von -143 HÄ/ha auf. Gerste liefert durch das hohe Ernteprodukt ebenso Humus nach. Der Umfang hierbei ist allerdings auf 37 HÄ/ha beschränkt. Wird also die Fruchtfolge betrachtet, ergeben sich 4 humusliefernde Jahre zu einem humuszehrenden Anbaujahr.

Der CO₂-Fußabdruck liegt bei 0,6570 kg CO₂e/kg TM / ha. Insgesamt ergibt das einen Ausstoß von 3.264,35 kg CO₂e/ha. Hauptemittent der Treibhausgasemissionen ist die Pflanzkartoffel

mit 6.807,81 kg CO₂e/ha. Der Ausstoß ist etwa 2,5-mal so hoch wie in den anderen Kulturen der Fruchtfolge. Auch der CO₂-Fußabdruck ist im Vergleich zu den anderen Kulturen bemerkenswert erhöht. Dieser übersteigt die Gerste um ein 10-faches, bei Raps ist dieser etwa doppelt so hoch. Das kann durch die geringe Ernteabfuhr im Raps und der Berechnungsgrundlage des Fußabdrucks begründet werden. Dieser wird anhand der Trockenmasse des Erntegutes errechnet. Im Vergleich zu Gerste und Kartoffeln fällt vergleichsweise wenig Trockenmasse an, worauf sich die entstandenen Emissionen verteilen könnten.

Zu beachten ist, dass der Erlös bei 3.272,23 €/ha liegt. Zeitgleich entsteht ein Deckungsbeitrag von 1.356,99 €/ha. Vor allem die Pflanzkartoffeln lassen den durchschnittlichen Erlös in die Höhe steigen und ziehen den Deckungsbeitrag hinunter. Genau wie beim Humus kann auch der Deckungsbeitrag durch den vermehrten Anbau von Raps profitieren. Hauptkostenfaktor in der Deckungsbeitragsrechnung ist neben den Betriebsmitteln ebenso der Arbeitszeitbedarf. Dieser ist in Pflanzkartoffeln mit 128,73 Akh/ha am höchsten. Im Vergleich dazu ist der Arbeitszeitbedarf in Raps mit 8,97 Akh/ha 14-mal so niedrig. Durchschnittlich werden 33,25 Akh/ha benötigt.

5.3.3. 4-jährige Anbaupause in Pflanzkartoffeln mit maximaler Humuserzeugung

Da die betriebseigene Fruchtfolge, trotz Erhöhung der Anbaupause, zu einem starken Abbau der Humussubstanz führt, soll überprüft werden, ob eine Neutralität oder sogar ein Aufbau an Humussubstanz möglich ist und welche Kulturen eingebunden werden können. Ebenso wird überprüft, wie hoch der Deckungsbeitrag dabei ausfällt und welche Erlöse je Hektar hier möglich sind.

Der einfachste Schritt zur Neutralität ist der Anbau von Zwischenfrüchten. Diese wurden bislang für Pflanzkartoffeln nicht vorgesehen, können aber bis zu 252 HÄ/ha in kurzer Zeit aufbauen. Außerdem tragen sie durch eine Bedeckung des Bodens über Winter zu einer Verringerung des Erosionspotentials bei. Gleichzeitig werden Nährstoffe gehalten und CO₂ fixiert. Auch durch ertragsstarke Kulturen, welche ein hohes Hauptprodukt-Nebenprodukt-Verhältnis aufweisen, kann Humus generiert werden. So weisen Leguminosen durch ein gutes Wurzelsystem und viel oberirdische Blattmasse gute Voraussetzungen dafür auf und sollten, zuzüglich einer eigenen Zwischenfrucht, angebaut werden (Berechnungsparameter für einzelbetriebliche Klimabilanzen, o.D.).

Dargestellt wird die Fruchtfolge in der nachfolgenden Tabelle 31.

Tabelle 31: Auflistung der Kennzahlen gruppiert nach Kultur für die Fruchtfolge mit 4 Jahren Anbaupause und maximalem Humusaufbau

Fruchtfolge - 4 Jahre Anbaupause mit maximalem Humusaufbau									
Faktor	Einheit	ZF	PK	HR	ZF	L	WR	WG	Durchschnitt
Erlös	€/ha	0,00	6.150,00	3.145,62	0,00	958,90	2.731,53	2.374,03	3.072,02
variable Kosten	€/ha	270,36	3.917,92	959,79	270,36	391,30	687,70	777,80	1.455,05
Zeitbedarf	AKH/ha	1,02	128,73	9,95	1,02	7,10	8,97	9,79	33,32
Lohnkosten	€/ha	15,40	1.878,08	146,50	15,40	105,35	135,15	144,50	488,08
Deckungsbeitrag	€/ha	-301,40	268,13	1.990,37	-301,40	423,49	1.861,76	1.396,65	1.067,52
Summe THG	kg CO2e/ha	-332,02	6.807,81	2.425,05	-332,02	177,30	2.615,16	2.141,81	2.700,62
CO2 - Fußabdruck	kg CO2e/kg TM	-0,12	1,37	0,31	-0,12	0,09	0,68	0,28	0,50
Humus	HÄ/ha	252,00	-1.000,00	164,92	252,00	160,00	103,49	37,81	-5,96
CO2-Betrag	€/ha	9,96	-204,23	-72,75	9,96	-5,32	-78,45	-64,25	-81,02

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Wie zu erkennen ist, besteht die Fruchtfolge aus einer vorangestellten Zwischenfrucht. Mit dem Umbruch dieser im Frühjahr startet der Pflanzkartoffelanbau. Durch den frühen Erntezeitpunkt ist ein Anbau von Hybridroggen möglich. Nach der Ernte des Roggens bietet sich der Anbau einer erneuten Zwischenfrucht an. Darauf folgt der Anbau von Lupinen oder anderen großkörnigen Leguminosen. Der gebundene Stickstoff in den Wurzeln der Lupine kann durch Winterraps genutzt werden. Als nächstes bietet sich der Anbau von Wintergerste an. Diese liefert durch ihr hohes Ertragsniveau weiteren Humus nach. Anstelle des Gerstenanbaus wäre ebenso der Anbau von Winterweizen denkbar. Es wurde sich dagegen entschieden, da durch den geringeren Ertrag mit weniger Nebenprodukt und Wurzelmasse zu rechnen ist. Im Ergebnis wird weniger Humus neu gebildet. Ebenso kann die Fruchtfolge nach Raps mit einer Zwischenfrucht und einer Sommerung, wie Sommerweizen oder Braugerste, ergänzt werden. Diese würden allerdings die Vorfruchtwirkung des Raps nicht so ausnutzen können, wie der direkt nach Raps folgende Wintergetreideanbau. Es wird dabei von einer

Luxusfolge gesprochen. Gleichzeitig ergaben Berechnungen, dass der Sommerweizen als humuszehrend zu bewerten ist. Somit wäre die humusliefernde Wirkung der Zwischenfrucht durch den Sommerweizen stark reduziert.

Aus der Tabelle 31 lässt sich ablesen, dass die Umstellung der Fruchtfolge einen durchschnittlichen Humusabbau von 5,96 HÄ/ha generiert. Trotz der leichten negativen Tendenz kann dieser als neutral angesehen werden. Somit ist auch mit 4 Jahren Anbaupause eine Neutralität im Bereich der Humusbilanzierung zu erzielen. Die Kartoffel ist stark zehrend, aber durch die kombinierte Wirkung von Zwischenfrüchten, Getreide, Raps und Leguminosen ist so eine neutralisierende Wirkung möglich. Die angebauten Zwischenfrüchte können 252 HÄ/ha nachliefern. Leguminosen liefern 160 HÄ/ha, Hybridroggen 164 HÄ/ha. Raps beteiligt sich zu 103 HÄ/ha am Humusaufbau, Wintergerste noch zu 37 HÄ/ha.

Die CO₂-Leistung der Kulturen verhält sich ähnlich hierzu. Hauptemittent ist die Pflanzkartoffel mit 6.807,81 kg CO₂e/ha. Ungefähr ein Drittel weniger wird durch den Anbau der Kulturen Winterraps (2.615,16 kg CO₂e/ha), Hybridroggen (2.425,05 kg CO₂e/ha) und Wintergerste (2.141,81 kg CO₂e/ha) ausgestoßen und über 50-mal weniger durch den Lupinenanbau. Es werden nur rund 177 kg CO₂e/ha frei. Der Anbau von Zwischenfrüchten führt hier zu Einsparungen, da diese 332,02 kg CO₂e/ha in sich binden. Dieser Ausstoß führt zu einem Fußabdruck von 0,5002 kg CO₂e/kg TM/ha.

Monetär betrachtet, erwirtschaftet die Fruchtfolge einen Umsatz von 15.360,09 €. Im Durchschnitt werden also Einnahmen von 3.072,02 €/ha erzielt. Dennoch kommt der Deckungsbeitrag schwach daher. So bleiben nach Abzug aller variablen Kosten 1.067,52 €/ha. Dies ist durch die Kosten der Zwischenfrucht begründet. Es fallen vor allem Saatgutkosten an, und durch die ausbleibende Ernte gibt es kein vermarktbare Endprodukt. Genauso schwach, aber mit vermarktbarem Endprodukt sind Lupinen. Diese erzielen einen Erlös von 958,90 €/ha. Werden hier die variablen Kosten abgezogen, bleibt ein Deckungsbeitrag von 423,49 €/ha. Ebenso ist der Deckungsbeitrag von Pflanzkartoffeln, als sehr schwach anzusehen. So bleiben hier noch 268,13 €/ha übrig. Die Saatgutkosten in den Lupinen sind neben den Produktionskosten, also den variablen Maschinenkosten, der Hauptkostenfaktor. Dort fallen je Hektar 127,80 € an. In den Pflanzkartoffeln liegen die Kosten weiter gestreut. So lassen sich große Kostenpositionen im Bereich des Pflanzguts (1.227,28 €/ha), der Produktion (1.697,97 €/ha) und des Personalaufwands (1878,08 €/ha) finden.

Im Gegensatz dazu ist der Hybridroggenanbau mit einem hohen Deckungsbeitrag ausgestattet. Nach Abzug aller Kosten bleibt ein Deckungsbeitrag von 1.990,37 €/ha stehen. Das liegt vor allem an der hohen Erntemenge (89 dt/ha) und dem hohen Preis (35,08 €/dt). Trotzdem ist auch der Kostenfaktor nicht außer Acht zu lassen. Unter allen, auf dem Betrieb angebauten Getreidearten, hat der Hybridroggen die höchsten variablen Kosten. Diese sind alle ähnlich hoch angesiedelt, sodass es dort keine Kostenposition gibt, welche besonders

deutlich hervorsteht. Auch der Rapsanbau weist einen hohen Deckungsbeitrag auf, wobei von einem Erlös von 2.731,53 €/ha noch 1.861,76 €/ha stehenbleiben. Hauptkostenposition ist der Düngereinsatz mit 295,45 €/ha.

Insgesamt werden 1.455,05 €/ha an variablen Kosten durch die Produktion erzeugt. Außen vor sind bei der Betrachtung die Personalkosten, welche einzeln in die Deckungsbeitragsrechnung einfließen.

5.3.4. 4-jährige Anbaupause in Pflanzkartoffeln mit CO₂-freien Vorleistungen

In diesem Kapitel soll die betriebseigene Fruchtfolge auf den Treibhausgasausstoß untersucht werden, der durch die reine Pflanzenproduktion bedingt ist. Es wird sowohl die betriebseigene Fruchtfolge als auch die Fruchtfolge zur maximalen Humuserzeugung in den Kontext gezogen. Da die zu betrachtenden Fruchtfolgen bereits monetär erläutert sind und sich an diesem Sachverhalt nichts ändert, wird auf eine erneute Beschreibung verzichtet. Ebenso bleibt in diesem Szenario der Treibhausgasausstoß der Vorleistungen unberücksichtigt. Realisierbar ist dies, indem beispielsweise der Treibhausgasausstoß der Vorleistungen von der Pflanzenproduktion durch den Einsatz von Wasserstoff als Energieträger mit einem Wert von Null gleichgesetzt wird.

5.3.4.1. Zusammenfassung der betriebseigenen Fruchtfolge mit CO₂-freien Vorleistungen

Durch die Nutzung von Wasserstoff, als alternativem Energiemedium, wäre ein CO₂-Ausstoß vernachlässigbar. Demnach wären die entstehenden Treibhausgasemissionen nur noch auf den direkten Anbau zurückzuführen. Dazu zählen beispielsweise die NH₃-Verluste aus der Düngung mit Mineraldüngern.

In der nachfolgenden Tabelle 32 sind die Werte zusammengefasst abgebildet.

Tabelle 32: Auflistung der Summen und Durchschnittswerte wesentlicher Faktoren der betriebseigenen 4-jährigen Anbaupause

Faktor	Summe	Einheit	Durchschnitt	Einheit
THG	9.767,35	kg CO ₂ e	1.627,89	kg CO ₂ e/ha
CO ₂ - Fußabdruck	1,63	kg CO ₂ e/kg TM	0,33	kg CO ₂ e/kg TM /ha

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung

Durch diese Fruchtfolge werden insgesamt 9.767,35 kg CO₂e frei. Dies führt zu einem CO₂-Fußabdruck von 1,63 kg CO₂e/kg TM. Aufgeteilt sind diese Werte wie folgt (Vgl.: Abbildung 20).

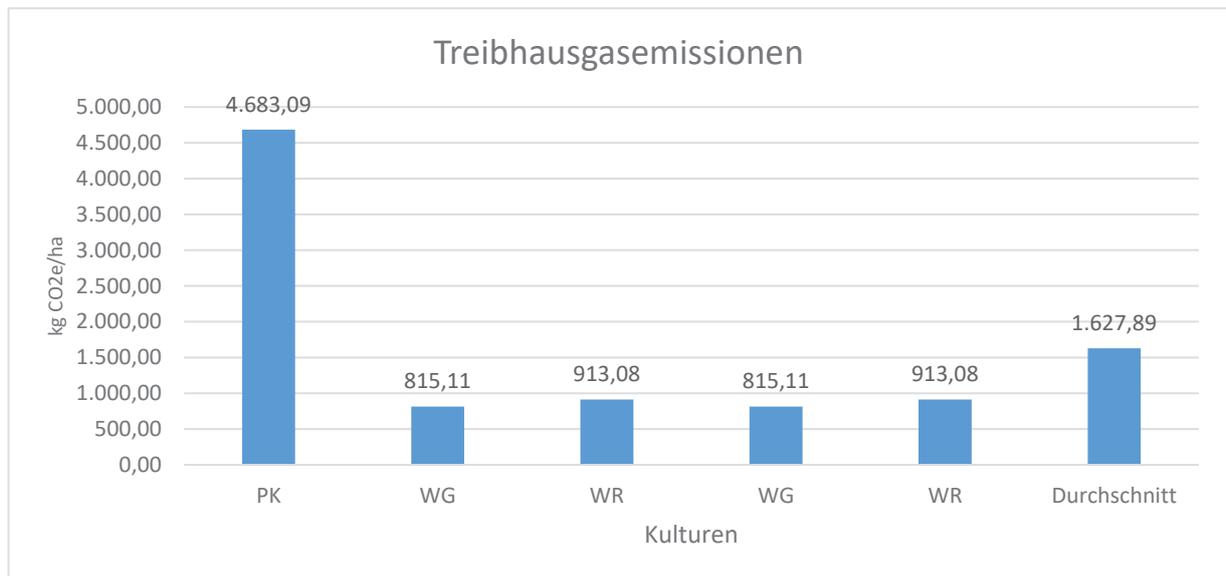


Abbildung 20: Aufteilung der Treibhausgase in der betriebseigenen 4-jährigen Anbaupause in Pflanzkartoffeln in kg CO₂e/ha je Kultur

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Hieraus wird deutlich, dass die Pflanzkartoffel, trotz der fehlenden Vorleistungen, die meisten produktionsgebundenen Emissionen freisetzt. Auch unterscheiden sich die Werte in der Produktion von Raps und Gerste nur noch unwesentlich. So gibt Wintergerste 815,11 kg CO₂e/ha frei. Winterraps setzt etwa 100 kg CO₂e/ha mehr frei und kommt auf einen Wert von 913,08 kg CO₂e/ha. Damit lasten auf der Pflanzkartoffelproduktion 57 % der anfallenden Treibhausgasemissionen in der gesamten Fruchtfolge.

Durch das Fehlen der Vorleistungen im Bereich der Treibhausgasemissionen kann jetzt ein Fußabdruck, explizit nur für die Produktion der Kultur, errechnet werden. Die Auflistung dazu ist in der nachfolgenden Abbildung 21 enthalten.

So wird deutlich, dass die Pflanzkartoffel, gleichfalls zu den meisten Treibhausgasemissionen, auch den größten CO₂-Fußabdruck hinterlässt. Pflanzkartoffeln haben einen Fußabdruck von 0,9418 kg CO₂e/kg TM. Dies entspricht ebenso 57 % des gesamten Fußabdrucks. Die restlichen 43 % entfallen anteilig auf Wintergerste (0,1060 kg CO₂e/kg TM) und Winterraps (0,2371 kg CO₂e/kg TM).

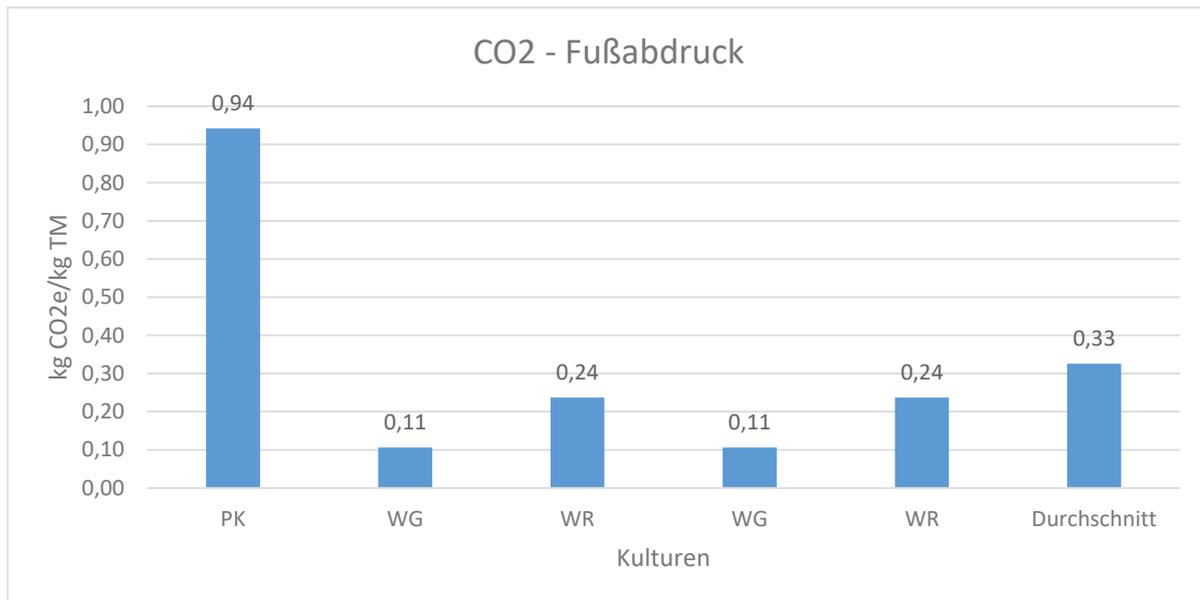


Abbildung 21: Aufteilung des CO₂-Fußabdrucks je Kultur in der betriebseigenen Anbaupause von 4-Jahren in kg CO₂e/kg TM

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

5.3.4.2. Zusammenfassung der betriebseigenen Fruchtfolge mit Ausrichtung auf maximalen Humusaufbau und CO₂-freie Vorleistungen

Auch im Bereich der Fruchtfolge mit maximalem Humusaufbau können Veränderungen im Treibhausgasausstoß festgestellt werden.

In der nachfolgenden Tabelle 33 sind die Werte zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 33: Auflistung der Summen und Durchschnitte wesentlicher Faktoren der betriebseigenen 4-jährigen Anbaupause mit dem Ziel des maximalen Humusaufbaus

Faktor	Summe	Einheit	Durchschnitt	Einheit
THG	5.964,51	kg CO ₂ e	1.192,90	kg CO ₂ e/ha
CO ₂ - Fußabdruck	0,96	kg CO ₂ e/kg TM	0,19	kg CO ₂ e/kg TM /ha

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung

Aus der Tabelle geht hervor, dass die reine Produktion in dieser Fruchtfolge 5.964,51 kg CO₂e freisetzt. Es entsteht ein CO₂-Fußabdruck von 0,96 kg CO₂e/kg TM /ha. Die Werte verteilen sich, wie es in der folgenden Abbildung 22 dargestellt ist.

Im Bereich der Treibhausgassumme wird deutlich, dass die bereits negative Treibhausgasbilanz bei Zwischenfrüchten durch das Fehlen der Vorleistungen weiter ins Negative gezogen wird. So binden Zwischenfrüchte 455,59 kg CO₂e/ha. Ebenso können nun in der Lupinenproduktion Treibhausgasemissionen in Höhe von 168,08 kg CO₂e/ha gebunden werden. In der Pflanzkartoffel-, Winterraps- und Wintergerstenproduktion hat sich, im Vergleich zur vorhergehenden normalen Fruchtfolge ohne CO₂-Emissionen aus Vorleistungen, nichts verändert. Daher kann ein Wert von 4.683,09 kg CO₂e/ha in Pflanzkartoffeln, 913,08 kg CO₂e/ha in Winterraps und 815,11 kg CO₂e/ha in Wintergerste

angenommen werden. Der miteinbezogene Hybridroggen setzt durch seine Produktion 632,48 kg CO₂e/ha frei. Somit konnte neben einer ausgeglichenen Humusbilanz zeitgleich eine beinahe CO₂-Neutralität erzeugt werden.

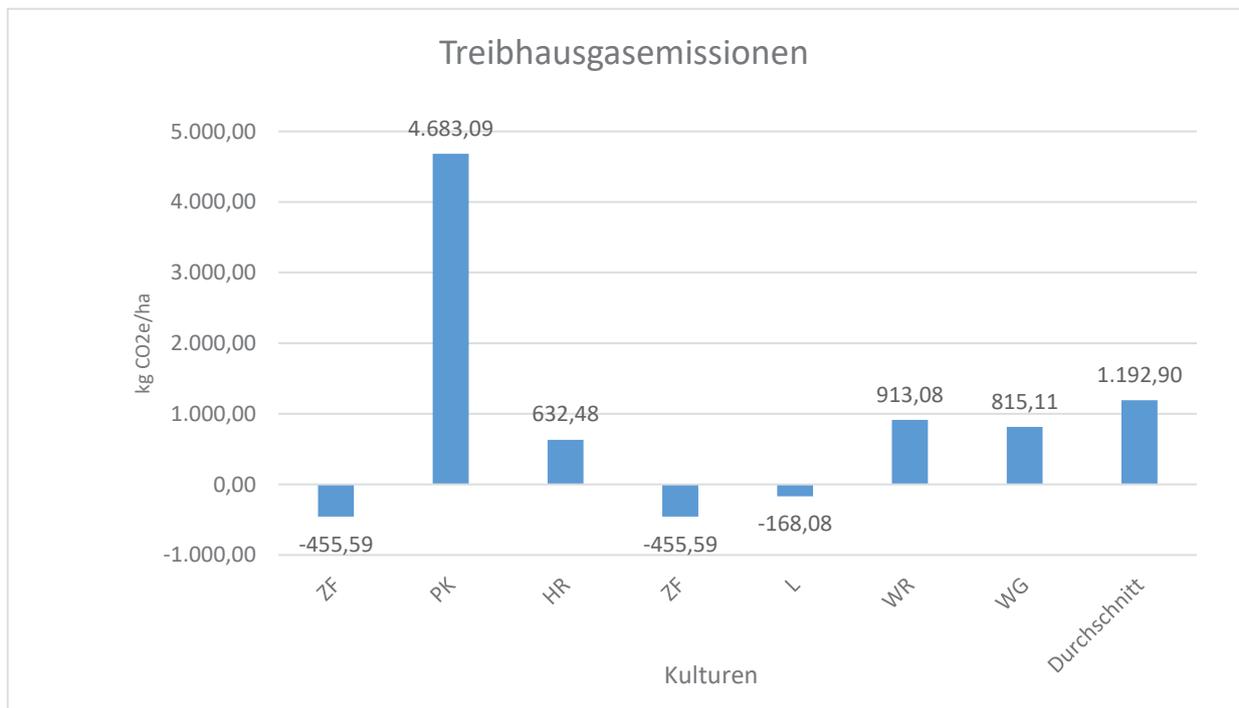


Abbildung 22: Aufteilung der Treibhausgase in der 4-jährigen Anbaupause in Pflanzkartoffeln mit CO₂-freien Vorleistungen und maximalem Humusaufbau
Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

In der nachfolgenden Abbildung 23 sind die dazugehörigen Fußabdrücke der einzelnen Kulturen dargestellt. So zeigt sich, dass die Zwischenfrucht (-0,1598 kg CO₂e/kg TM) und der Lupinenanbau (-0,0876 kg CO₂e/kg TM) einen negativen CO₂-Fußabdruck aufweisen, während der Pflanzkartoffelanbau den höchsten hinterlässt. Dieser ist durch die fehlenden Vorleistungen nur unwesentlich auf 0,9418 kg CO₂e/kg TM gefallen. Den zweitgrößten Fußabdruck in der Fruchtfolge hat Winterraps mit 0,2371 kg CO₂e/kg TM. Darauf folgt Wintergerste mit 0,1060 kg CO₂e/kg TM und Hybridroggen mit 0,0820 kg CO₂e/kg TM. Damit kommt es zu einem durchschnittlichen Ausstoß von 0,1920 kg CO₂e/ kg TM /ha.

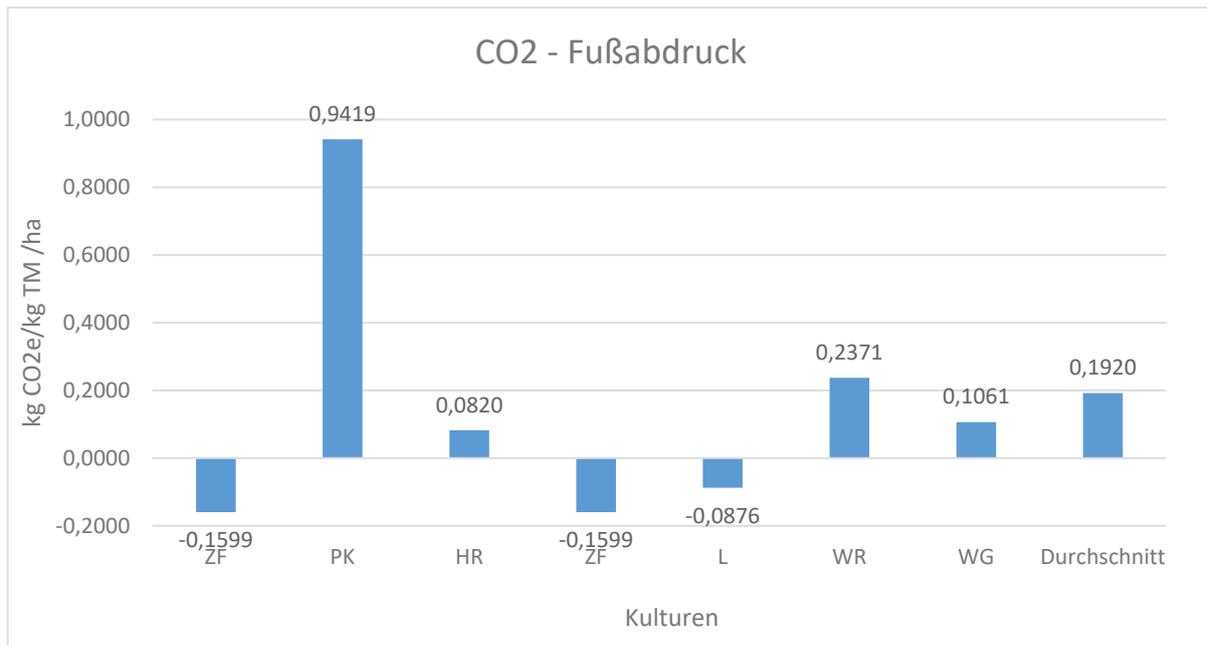


Abbildung 23: Aufteilung des CO₂-Fußabdrucks je Kultur in der Fruchtfolge mit einer Anbaupause von 4 Jahren und maximalem Humusaufbau in kg CO₂e/kg TM

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

5.3.5. Betriebseigene Anbaupause von 4 Jahren zuzüglich einer CO₂-Steuer

In Hinblick auf die Besteuerung von CO₂-Emissionen muss die eigene Fruchtfolge ebenfalls überprüft werden. Es stellt sich die Frage, wie hoch dieser Betrag ausfällt und ob die Wirtschaftlichkeit dann noch gegeben ist. Als Richtbetrag werden 30 €/t CO₂e angenommen. Diese werden bei einem Ausstoß als Steuer gehandelt, bei Einsparungen als Gutschrift. In der nachfolgenden Tabelle 34 sind die Summen und Durchschnitte dieses Prozesses dargestellt.

Hieraus ist ersichtlich, dass durch die Produktion etwa 16.321,75 kg CO₂e frei werden. Bei einem Besteuerungssatz von 30 €/t CO₂e ergibt das die zusätzlichen Aufwendungen in Höhe von 489,65 €. Durchschnittlich werden so Kosten in Höhe von 97,93 €/ha zu erwarten sein.

Auch machen Pflanzkartoffeln erneut den höchsten Faktorbetrag aus. Hier wird eine Steuer von 204,23 €/ha fällig. Diese muss auf die variablen Kosten aufgeschlagen werden und nimmt somit direkten Einfluss auf den Deckungsbeitrag, wodurch dieser auf 63,90 €/ha sinkt. Für die restlichen Kulturen werden Kosten in Höhe von 64,25 €/ha für Wintergerste und 78,45 €/ha für Winterraps fällig.

Tabelle 34: Auflistung der Kennzahlen gruppiert nach Kultur für die Fruchtfolge mit 4 Jahren Anbaupause und maximalem Humusaufbau und zusätzlicher Besteuerung des Treibhausgasausstoßes

Fruchtfolge – betriebseigene 4 Jahre Anbaupause mit CO2 Besteuerung							
Faktor	Einheit	PK	WG	WR	WG	WR	Durchschnitt
Erlös	€/ha	6.150,00	2.374,03	2.731,53	2.374,03	2.731,53	3.272,23
variable Kosten	€/ha	3.917,92	777,80	687,70	777,80	687,70	1.369,78
Zeitbedarf	AKH/ha	128,73	9,79	8,97	9,79	8,97	33,25
Lohnkosten	€/ha	1.878,08	144,50	135,15	144,50	135,15	487,48
Deckungsbeitrag	€/ha	63,90	1.332,40	1.783,31	1.332,40	1.783,31	1.259,06
Summe THG	kg CO2e/ha	6.807,81	2.141,81	2.615,16	2.141,81	2.615,16	3.264,35
CO2 – Fußabdruck	kg CO2e/kg TM	1,37	0,28	0,68	0,28	0,68	0,66
Humus	HÄ/ha	-1.000,00	37,81	103,49	37,81	103,49	-143,48
CO2-Betrag	€/ha	-204,23	-64,25	-78,45	-64,25	-78,45	-97,93

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Im Gegensatz dazu kann die Fruchtfolge mit CO₂-freien Vorleistungen mit in den Vergleich hinzugezogen werden (Vgl.: Tabelle 35). Für diese Fruchtfolge bedeutet dies Kosten in Höhe von 244,18 €. Wintergerste verursacht dabei Kosten in Höhe von 24,45 €/ha und Winterraps von 27,39 €/ha. Pflanzkartoffeln können sich auf einen Kostenfaktor von 140,49 €/ha verbessern. Somit entfallen 63,74 €/ha auf die CO₂-Abgabe im Pflanzkartoffelanbau durch den Ausstoß im vorgelagerten Bereich. Umgerechnet entfallen 32,2 % des Treibhausgasausstoßes auf den vorgelagerten Bereich der Pflanzkartoffelproduktion. Mit einer Differenz von 39,8 €/ha macht der vorgelagerte Bereich der Wintergerstenproduktion 61,9 % des steuerbaren Treibhausgasausstoßes aus. Im Winterraps liegt dieser Wert mit 51,06 €/ha bei 65,1 %.

Tabelle 35: Auflistung der Kennzahlen gruppiert nach Kulturen für die betriebseigene Fruchtfolge mit 4 Jahren Anbaupause und zusätzlicher Besteuerung des Treibhausgasausstoßes

Fruchtfolge - betriebseigene 4 Jahre Anbaupause und CO2-freien Vorleistungen inklusive Treibhausgassteuer							
Faktor	Einheit	PK	WG	WR	WG	WR	Durchschnitt
Deckungsbeitrag	€/ha	127,64	1.372,20	1.834,37	1.372,20	1.834,37	1.308,15
Summe THG	kg CO2e/ha	4.683,09	815,11	913,08	815,11	913,08	1.627,89
CO2-Betrag	€/ha	-140,49	-24,45	-27,39	-24,45	-27,39	-48,84

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Im überblicksweisen Vergleich der Werte aus Tabelle 34 mit denen der CO₂-freien Vorleistungen und dem maximalen Humusaufbau in Tabelle 36 sind auch hier Veränderungen

festzustellen. Beispielsweise liefern Kulturen wie Zwischenfrüchte und Lupinen Gutschriften nach. Lupinen können damit ihren Deckungsbeitrag um 5,04 €/ha auf 428,53 €/ha erhöhen. Bei Zwischenfrüchten bleibt der Deckungsbeitrag weiterhin negativ, aber auch hier ist eine Gutschrift in Höhe von 13,67 €/ha zu erwarten. Dadurch verändert sich der Deckungsbeitrag für Zwischenfrüchte auf -287,73 €/ha. Auch Winterraps und Wintergerste nähern sich weiter an. So kostet Winterraps zusätzliche 27,39 €/ha und Wintergerste 24,45 €/ha. Durchschnittlich ist ein Anbau dieser Fruchtfolge mit einer Steuer von 35,79 €/ha belastet.

Tabelle 36: Auflistung der Kennzahlen gruppiert nach Kulturen für die Fruchtfolge mit 4 Jahren Anbaupause und maximalem Humusaufbau und zusätzlicher Besteuerung des Treibhausgasausstoßes

Fruchtfolge - 4 Jahre Anbaupause mit CO2 freien Vorleistungen und max. Humusaufbau inklusive Treibhausgassteuer									
Faktor	Einheit	ZF	PK	HR	ZF	L	WR	WG	Durchschnitt
DB	€/ha	-287,73	127,64	1.971,40	-287,73	428,53	1.834,37	1.372,20	1.031,73
Summe THG	kg CO2e/ha	-455,59	4.683,09	632,48	-455,59	-168,08	913,08	815,11	1.192,90
CO2-Betrag	€/ha	13,67	-140,49	-18,97	13,67	5,04	-27,39	-24,45	-35,79

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Im Vergleich der Werte aus Tabelle 36 mit denen aus Tabelle 31 wird ersichtlich, dass neben den bereits verglichenen Kulturen andere Kulturen ebenso einen gewissen Anteil ausmachen. So können durch den Zwischenfruchtanbau etwa 27,1 % mehr an Gutschrift erzielt werden. Dies ergibt einen Zugewinn von 3,71 €/ha. Bei Hybridroggen liegt dieser Wert bei 53,78 €/ha. Somit entfällt ein Anteil von 73,9 % auf die Vorleistungen. Im Lupinenanbau kann durch die fehlende Vorleistung aus einer Steuer eine Gutschrift entstehen. So lässt sich hier eine Steigerung von 10,36 €/ha auf 5,04 €/ha feststellen. Durchschnittlich bedeutet dies, dass im Gesamten ein Anteil von 55,8 % an zu steuernden Emissionen auf die Vorleistungen entfällt.

6. Zusammenführung und Vergleich der Fruchtfolgen

Durch die Vielzahl verschiedener Möglichkeiten, eine Fruchtfolge zu gestalten und der detaillierten Ausführung in den vorherigen Kapiteln, in welchen die Fruchtfolgen näher beschrieben worden sind, soll es in diesem Kapitel darum gehen, wie die Fruchtfolgen in einen Zusammenhang gesetzt werden können. Verglichen wird unter Maßgabe ökonomischer und ökologischer Faktoren.

Vorweg muss gesagt werden, dass in der Legende der Punktdiagramme alle genutzten Fruchtfolgen aufgeführt sind. Die Punkte in der Grafik überlagern sich und sind daher manchmal nicht erkennbar. Dafür wurde mittels Hilfslinien die Datenbeschriftung für die überlagerten Punkte in den Grafiken vorgenommen.

6.1. Ökonomische Betrachtung

In diesem Kapitel wird überprüft, ob der Deckungsbeitrag und die Erlöse sinken, wenn mehr Wert auf ökologische Faktoren und eine vielseitige Fruchtfolge gelegt wird. Ebenso stellt sich die Frage, ob durch die Hinzunahme einer Treibhausgassteuer der ökonomische Vorteil auf Seiten der ökologischeren Fruchtfolgen liegt. Zudem wird überprüft, ob Fruchtfolgen mit hohem Erlös einen ebenso hohen Deckungsbeitrag mit sich bringen, und ob somit ein Zusammenhang zwischen diesen beiden Größen nachweisbar ist.

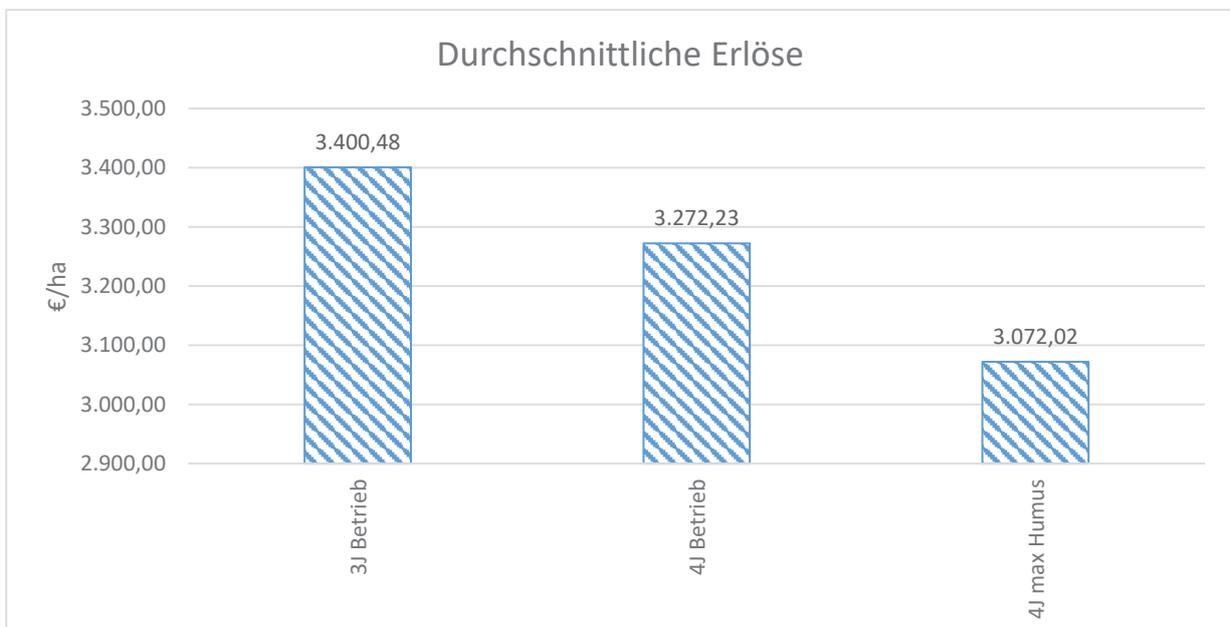


Abbildung 24: Vergleich der durchschnittlichen Erlöse der betrachteten Fruchtfolgen in €/ha je Fruchtfolge
Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

In der vorangehenden Abbildung 24 werden alle Fruchtfolgenerlöse nebeneinander dargestellt. Dadurch fällt auf, dass der höchste durchschnittliche Erlös durch die

betriebeigene Fruchtfolge mit 3 Jahren Anbaupause erreicht wird. Es entsteht eine durchschnittliche Erlössumme von 3.400,48 €/ha. Den niedrigsten Fruchtfolgeerlös erzielt die Folge mit dem maximalen Humusaufbau mit 3.072,02 €/ha. Bedingt ist dies durch die negativen Erlöse der Zwischenfrucht und dem niedrigen Erlös aus den Lupinen.

Da die Steuer auf Treibhausgase als variabler Kostenfaktor anfällt, muss diese in den Deckungsbeitrag einfließen. In der nachfolgenden Grafik 25 sind diese aufgeführt.

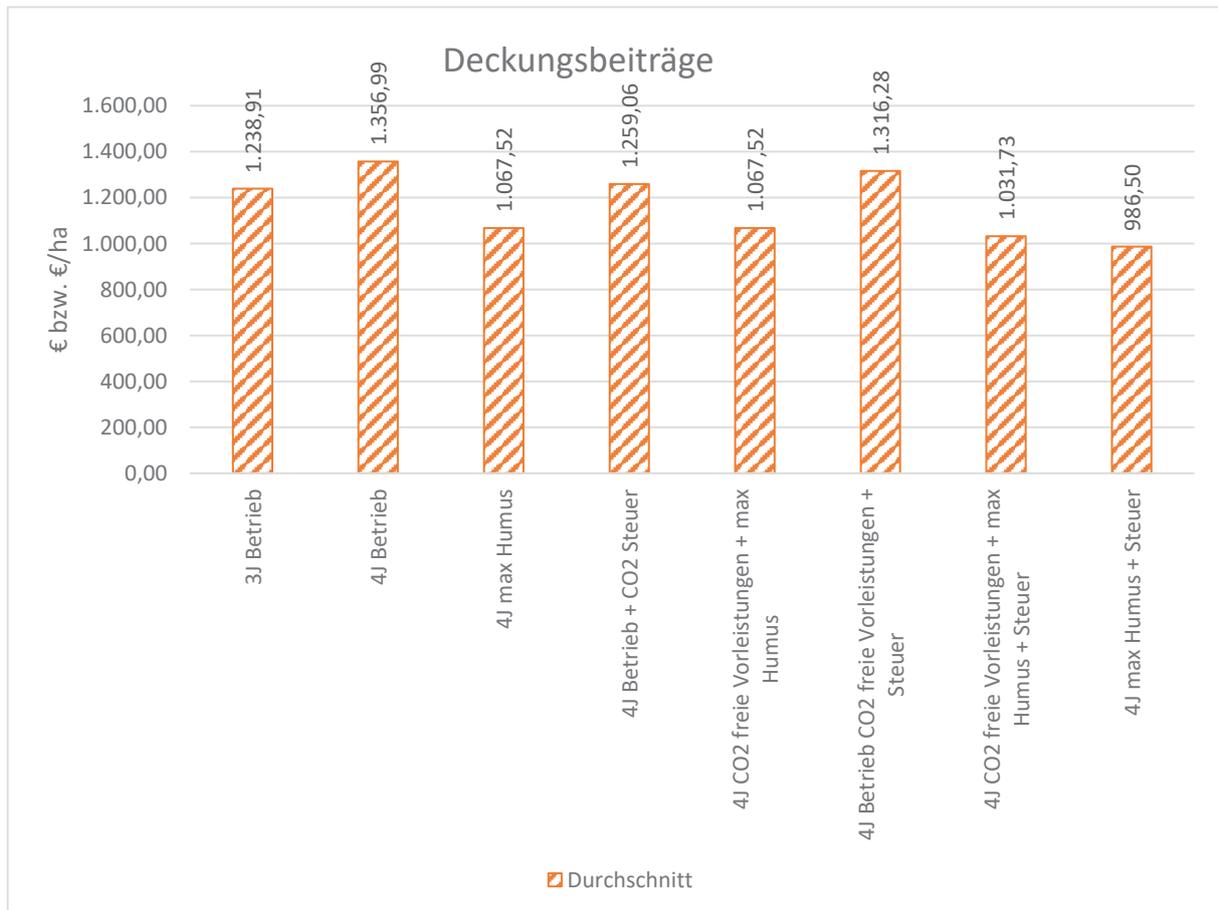


Abbildung 25: Deckungsbeiträge der verschiedenen Fruchtfolgen; summiert und je Hektar
Quelle: Betriebsdaten, eigene Berechnung, eigene Darstellung

Beim Vergleich der Deckungsbeiträge wird wiederum deutlich, dass der höchste Deckungsbeitrag über die 4-jährige eigene Anbaupause realisiert wird. Hierbei können aufsummiert 6.784,96 € verdient werden. Ebenfalls sind die Hektarbeträge mit 1.356,99 €/ha am höchsten. Etwas weniger wird in der betriebeigenen 4-jährigen Anbaupause mit zuzüglicher Treibhausgassteuer und emissionsfreien Vorleistungen erwirtschaftet. So liegt der Betrag bei 6.581,41 €. Hier finden sich die zweithöchsten Hektarbeträge mit 1.316,28 €/ha. Den niedrigsten Deckungsbeitrag erbringt die Fruchtfolge zur maximalen Humusproduktion mit CO₂-Steuer. Diese erzielt lediglich 4.932,51 €. Je Hauptkultur ergibt sich ein Deckungsbeitrag von 986,50 €/ha. Die Erklärung liegt zum einen darin, dass im Vergleich zu der Ausgangsfolge mit 3 Jahren Anbaupause, diese Fruchtfolge mit einem Fruchtfolgeglied mehr daherkommt. Dadurch verteilt sich der Deckungsbeitrag nun auf 5 statt 4 Glieder. Ein

weiterer Grund dafür sind die deckungsbeitragsschwachen Kulturen, wie Pflanzkartoffel und Lupine, die im Vergleich hier niedriger abschneiden. Damit liegen die Erlöse je Hektar hinter denen der Ausgangsfolge. Zeitgleich wirkt sich die Treibhausgassteuer negativ auf den Deckungsbeitrag aus. Zu bedenken ist, dass hier Kulturen durch den Humusaufbau hinzugezogen werden, die weniger wirtschaftlich sind als die Kulturen in der Ausgangsfolge oder in der betriebseigenen 4-jährigen Anbaupause. Zusätzlich muss erwähnt werden, dass Zwischenfrüchte, rein buchhalterisch, nur Kosten verursachen und keinen Erlös hervorbringen. Das Anbauspektrum wird erweitert, wodurch sowohl Erlös als auch Deckungsbeitrag sinken.

Dieser Zusammenhang wird grafisch in der Abbildung 26 dargestellt. Hier lässt sich mittels eines Blickes auf die Grafik nur schwer eine Korrelation erahnen, wobei die Berechnung des Korrelationsfaktors einen Wert von 0,84 ergibt. Dieser beweist, dass eine starke positive lineare Korrelation vorliegt. Es besteht also ein Zusammenhang zwischen der Höhe des Deckungsbeitrages und der Höhe des Erlöses.

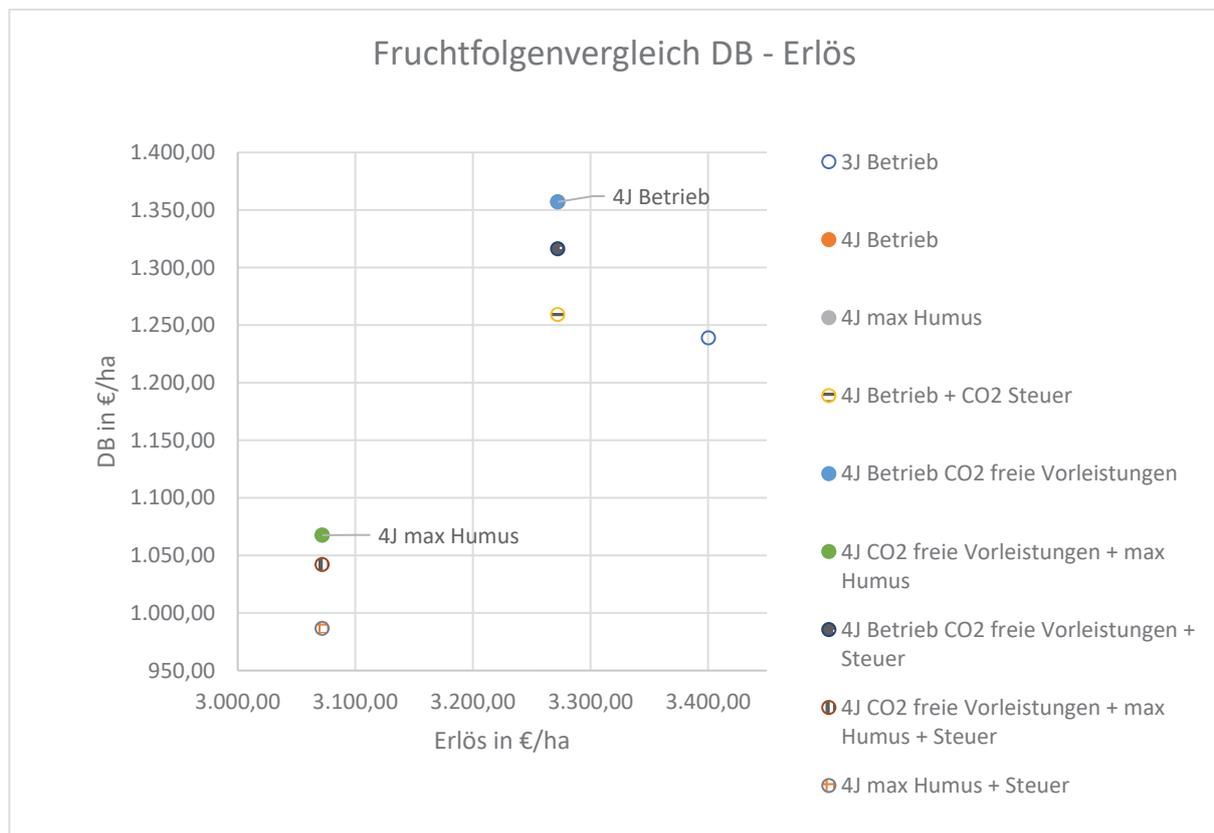


Abbildung 26: Vergleich der Fruchtfolgen in Bezug zur DB-Erlös-Relation; nach Durchschnitt des Erlöses und Durchschnitt des Deckungsbeitrags der gesamten Fruchtfolge
Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Die Grafik zeigt, dass beispielsweise der Erlös der 5-jährigen Fruchtfolge mit maximalem Humusaufbau und Steuer in Höhe von 3.072,02 €/ha sowie der Deckungsbeitrag mit 986,50 €/ha, im Vergleich zu den anderen Fruchtfolgen, dicht am Ursprung gelegen ist. Einen bedeutend höheren durchschnittlichen Deckungsbeitrag mit 1.067,52 €/ha erbringt die Fruchtfolge mit 4 Jahren Anbaupause zuzüglich maximalem Humusaufbau und CO₂-freien

Vorleistungen. Dennoch ist der durchschnittliche Erlös von 3.072,02 €/ha im Vergleich nicht höher. Ein wesentlich höherer Deckungsbeitrag mit 1.356,99 €/ha ist in der betriebseigenen Fruchtfolge mit 4 Jahren Anbaupause und CO₂-freien Vorleistungen wahrnehmbar. Diese weist zeitgleich auch einen deutlich höheren Erlös in Höhe von 3.272,23 €/ha auf. Den höchsten Erlös erbringt der Status quo mit 3.400,48 €/ha. Dabei wird aber nicht zeitgleich auch der höchste Deckungsbeitrag erzielt. Dieser liegt hier bei 1.238,91 €/ha.

Zusammenfassend zeigt die monetäre Analyse, dass die vorgenommene Veränderung der Fruchtfolge in keiner Variation eine Erhöhung der durchschnittlichen Erlöse ergibt. Im Bereich des Deckungsbeitrags war es nur über die vom Betrieb eingesetzte 4-jährige Anbaupause möglich, eine Erhöhung des durchschnittlichen Deckungsbeitrags feststellen zu können. Da eine Umstellung der Fruchtfolge verpflichtend ist und sollte auf Grundlage des Erlöses argumentiert werden, fällt hier vor allem die betriebseigene Fruchtfolge mit 4-jähriger Anbaupause ins Gewicht. Auffällig ist, dass die Höhe des durchschnittlichen Erlöses vor allem über die Art der Fruchtfolge entschieden wird. Dementgegen wird die Höhe des Deckungsbeitrags über die Variation der Fruchtfolge bestimmt, da dort durch zusätzliche variable Kosten, wie der CO₂-Steuer, ein Mehraufwand entsteht.

Dennoch konnte der Zusammenhang zwischen der Höhe des Erlöses und der Höhe des Deckungsbeitrags nachgewiesen werden. Somit ist mit steigenden Erlösen auch ein steigender Deckungsbeitrag zu erwarten.

Die Einführung einer CO₂-Steuer kann als komplett nachteilig angesehen werden, da eine CO₂-Neutralität zu keinem Zeitpunkt erreichbar ist. Eine Gutschrift ist daher nicht zu erwarten. Lediglich kann das Ausmaß der Steuer durch eine ökologisch nachhaltige Fruchtfolge eingegrenzt werden. So sind die geringsten Beiträge bei einer Fruchtfolge mit maximalem Humusaufbau zu verzeichnen. Sollte hierzu noch eine Umstellung auf einen alternativen Energieträger wie Wasserstoff vorgenommen werden, fällt die Steuerlast noch geringer aus.

6.2. Ökologische Betrachtung

In diesem Kapitel soll die ökologische Betrachtung der Fruchtfolgen thematisiert werden. Im Mittelpunkt steht die Frage, ob durch eine Erweiterung der Fruchtfolge gleichzeitig eine Verbesserung der Humusbilanz erfolgen kann, und ob sich dabei die Treibhausgasemissionen durch die Anpassung der Fruchtfolge neutralisieren lassen. Außerdem wird überprüft, ob eine Humusbilanzneutralität in Pflanzkartoffeln hergestellt werden kann, wenn die bestehende Fruchtfolge mit einer 4-jährigen Anbaupause angenommen wird und die Glieder dieser Folge entsprechend der Humuswirkung angepasst werden. Ebenso soll getestet werden, ob durch ein Mehr an Humus auch ein Weniger an CO₂-Emissionen ausgestoßen wird.

Beginnen wird mit dem Vergleich des Treibhausgasausstoßes. (Vgl.: Abbildung 27).

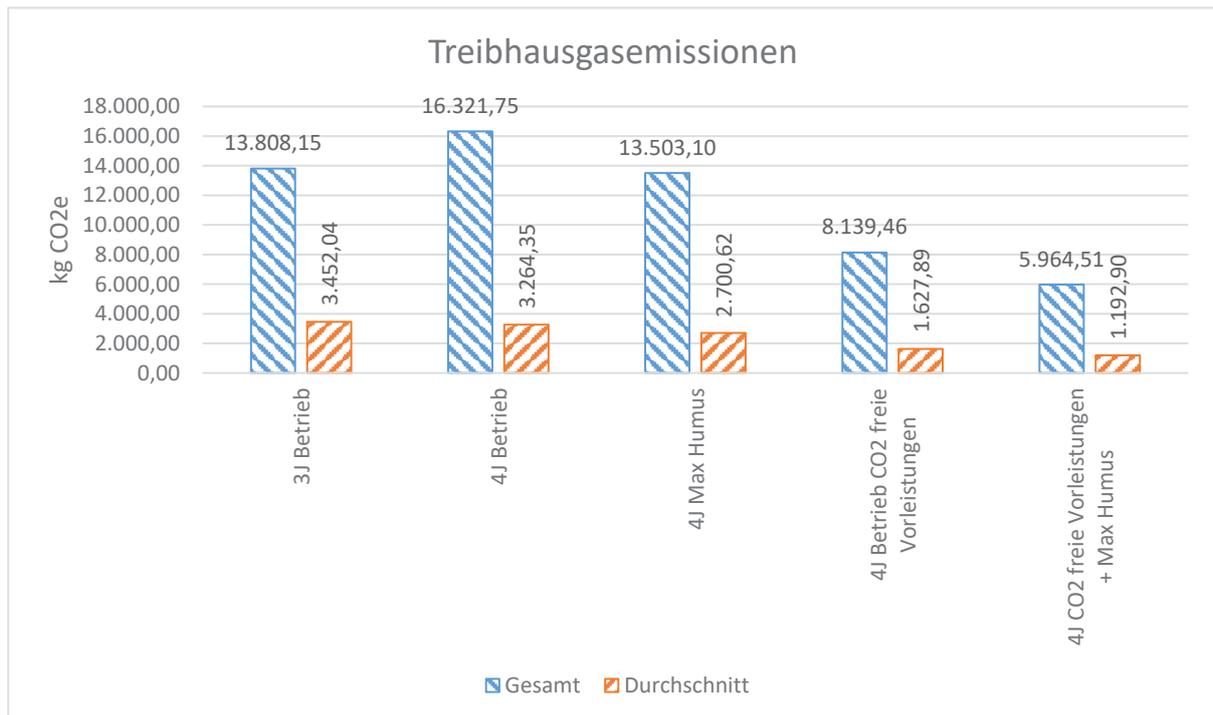


Abbildung 27: Vergleich der Summen der Treibhausgasemissionen der einzelnen Fruchtfolgen; gesamt und Hektarbeträge in kg CO₂e bzw. kg CO₂e/ha

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

In der Abbildung 27 wird deutlich, dass die höchste Summe an Treibhausgasen durch die Umstellung auf die betriebseigene Fruchtfolge mit 4 Jahren Anbaupause zurückzuführen ist. Dabei werden 16.321,75 kg CO₂e ausgestoßen. Für die in der Fruchtfolge angebaute Hektare kommt es zu einem mittleren Ausstoß von 3.264,35 kg CO₂e/ha. Durch eine Umstellung auf eine maximale Humusproduktion kann der Treibhausgasausstoß insgesamt verringert werden. Die reine Veränderung der Fruchtfolge bewirkt einen Ausstoß von nur noch 13.503,10 kg CO₂e. Somit werden 2.700,62 kg CO₂e/ha ausgestoßen. Ein weiterer Schritt könnte der Wechsel auf alternative Energieträger sein. Hier wäre, beispielsweise bei einer Umstellung auf Wasserstoff als Energieträger, die größtmögliche Reduzierung in der betriebseigenen Fruchtfolge mit 4 Jahren Anbaupause zu finden. Für die reine Produktion werden

8.139,46 kg CO₂e frei. Auf einen Hektar würde das umgerechnet einen Ausstoß von 1.627,89 kg CO₂e/ha bedeuten. Besser ist nur die umgestellte Fruchtfolge nach maximalem Humusaufbau und mit CO₂-freien Vorleistungen. Diese stößt insgesamt 5.964,51 CO₂e aus. Im Durchschnitt entsteht ein Ausstoß von 1.192,90 kg CO₂e/ha. Beim Vergleich der Gesamtwerte des Treibhausgasausstoßes von der betriebseigenen 4-jährigen Anbaupause und der Fruchtfolge mit 4 Jahren Anbaupause sowie maximalen Humusaufbau und CO₂-freien Vorleistungen als Ausgangspunkt ergibt sich eine maximale Reduktion der Treibhausgase von 63,5 %. Ohne die treibhausgasfreien Vorleistungen ergibt sich noch ein Einsparpotential von 17,3 %. Auffällig ist ebenso, dass die Umstellung von 3 Jahren Anbaupause auf 4 Jahre eine

Erhöhung der Treibhausgasemissionen mit sich bringt. Diese Erhöhung ist allerdings nur im Bereich der Summen festzustellen. Im besser miteinander vergleichbaren Bereich der Durchschnitte ist festzuhalten, dass durch die Umstellung eine Reduktion des durchschnittlichen Ausstoßes erreichbar ist. Bei einer stringenten Umstellung vom Status quo hin zur Fruchtfolge mit maximalem Humusaufbau und CO₂-freien Vorleistungen ist eine Reduzierung um 65,44 % möglich.

Gleiches zeichnet sich im Bereich des CO₂-Fußabdruckes ab (Vgl.: Abbildung 28). Die Verteilung ist identisch zu den Summen an Treibhausgasen je Fruchtfolge und angebaurem Hektar.

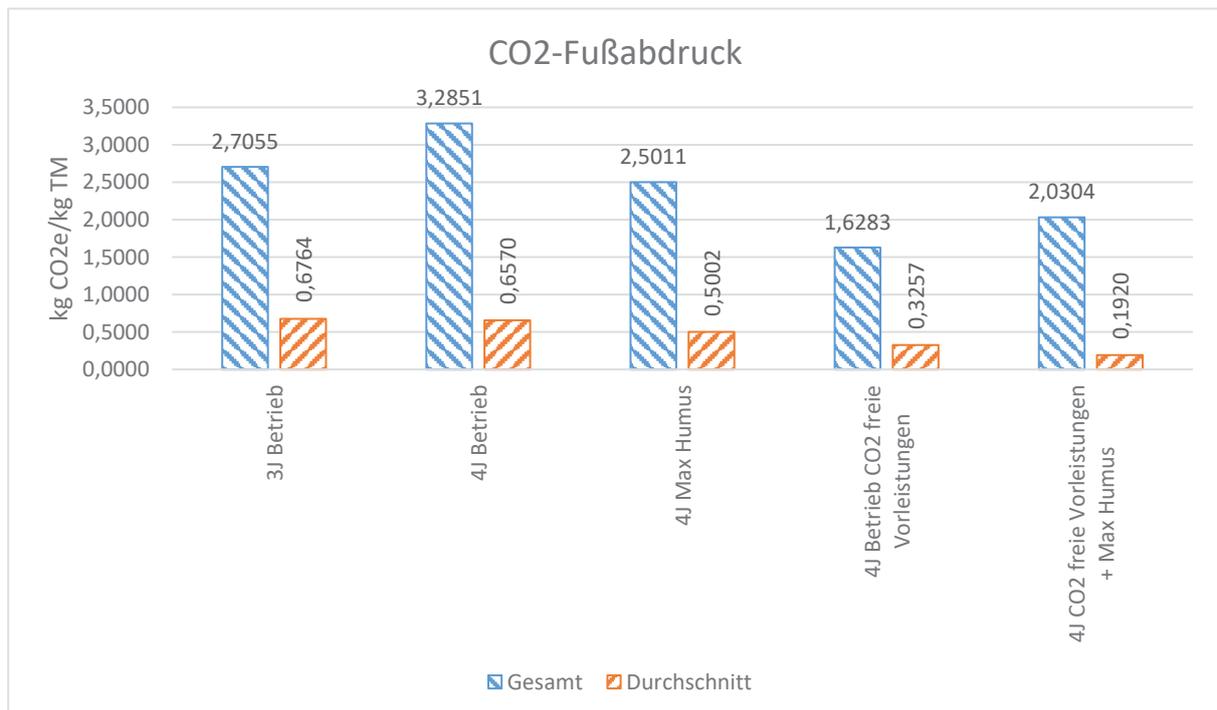


Abbildung 28: CO₂-Fußabdruck der verschiedenen Fruchtfolgen; gesamt je Fruchtfolge und durchschnittlich je Hektar der Fruchtfolge in kg CO₂e/kg TM

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Die Abbildung 28 verdeutlicht in Zusammenhang mit der vorhergehenden Abbildung 27, dass die Fruchtfolge mit dem geringsten durchschnittlichen Ausstoß auch den geringsten CO₂-Fußabdruck hinterlässt. So hat die Fruchtfolge ohne Treibhausgasemissionen aus Vorleistungen und mit maximaler Humusproduktion einen durchschnittlichen CO₂-Fußabdruck je Hektar von 0,1920 kg CO₂e/kg TM. Ebenso gilt auch in dieser Fruchtfolge, dass die Umstellung auf 4 Jahre Anbaupause durch den Betrieb den Ausstoß und somit den Fußabdruck vergrößert. Durch CO₂-freie Vorleistungen kann der Ausstoß minimiert werden und somit gleichfalls der Fußabdruck. Auf Hektarebene ist eine Annäherung gegen Null möglich, allerdings wird auch hier keine Neutralität erzeugt. Somit ist eine Treibhausgasneutralität mithilfe einer Fruchtfolge mit 4 Jahren Anbaupause in Pflanzkartoffeln für den Betrieb nicht erreichbar.

In Bezug auf die Humusbildung wird, wie in der nachfolgenden Grafik 29 zu erkennen ist, bei einem Humusverbrauch von 872,58 HÄ gestartet. Durchschnittlich werden je Jahr und Hektar 218,14 HÄ/ha abgebaut.

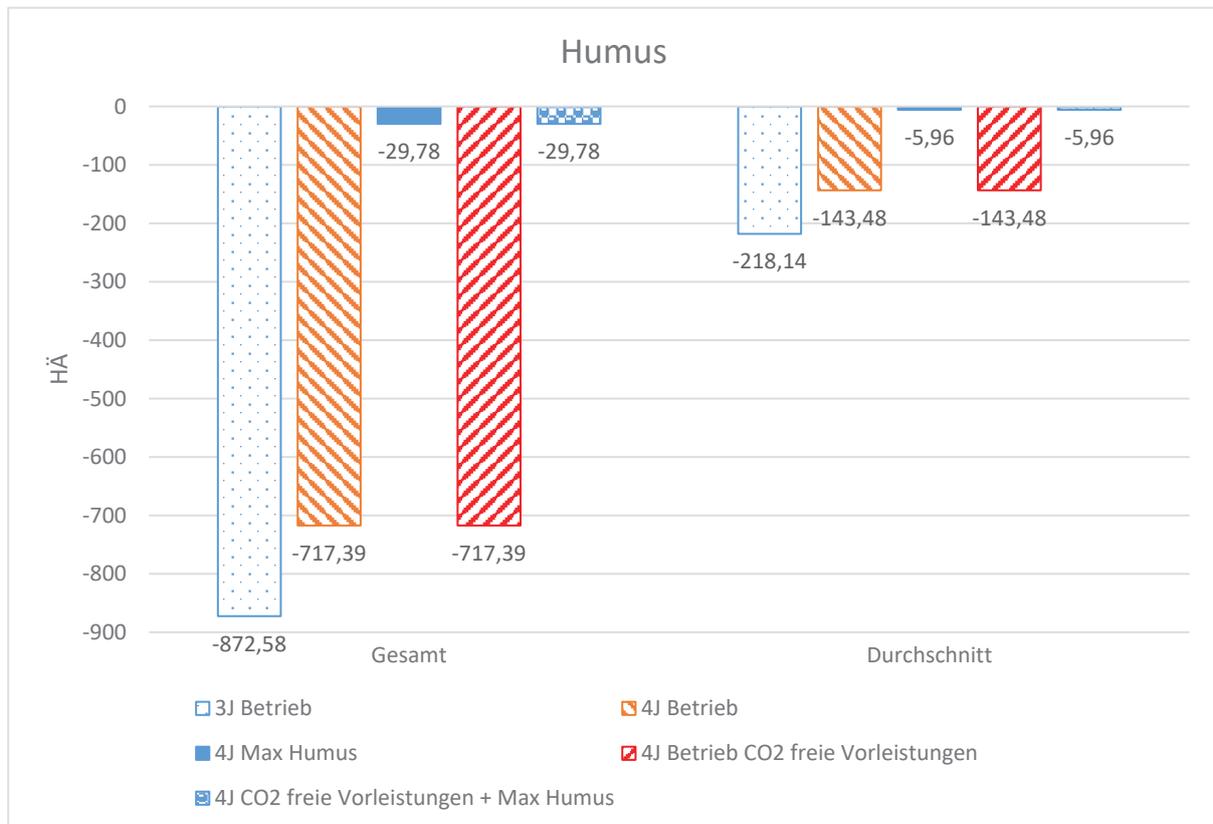


Abbildung 29: Humusbilanzierung der Fruchtfolgen in HÄ

Quelle: Betriebsdatenauswertung nach Beck & Rippel, 2014 und Berechnungsparameter für einzelbetriebliche Klimabilanzen, o.D., eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Durch die betriebseigene Umstellung auf 4 Jahre Anbaupause in Pflanzkartoffeln sank der Verbrauch an Humus von 872,58 HÄ auf 717,39 HÄ. Dennoch werden je Hektar 143,48 HÄ/ha abgebaut. Erst durch eine weitere Optimierung der Fruchtfolge kann ein Ergebnis erzeugt werden, das trotz leichter negativer Tendenz als ausgeglichen gewertet werden kann. Dafür ist der strikte Anbau an Zwischenfrüchten notwendig und der Einbau von mindestens einer Sommerung, die im besten Fall eine Leguminose darstellt. Insgesamt werden so noch 29,78 HÄ abgebaut. Auf die einzelnen Kulturen umgerechnet, bedeutet dies eine durchschnittliche Reduktion auf 5,96 HÄ/ha. Das ist wiederum eine Reduktion gegenüber dem Anfangswert von 99,4 %.

In der nachfolgenden Grafik 30 sind die Ergebnisse ablesbar, wenn die durchschnittliche Humusproduktion mit den durchschnittlichen Treibhausgasemissionen ins Verhältnis gesetzt wird.

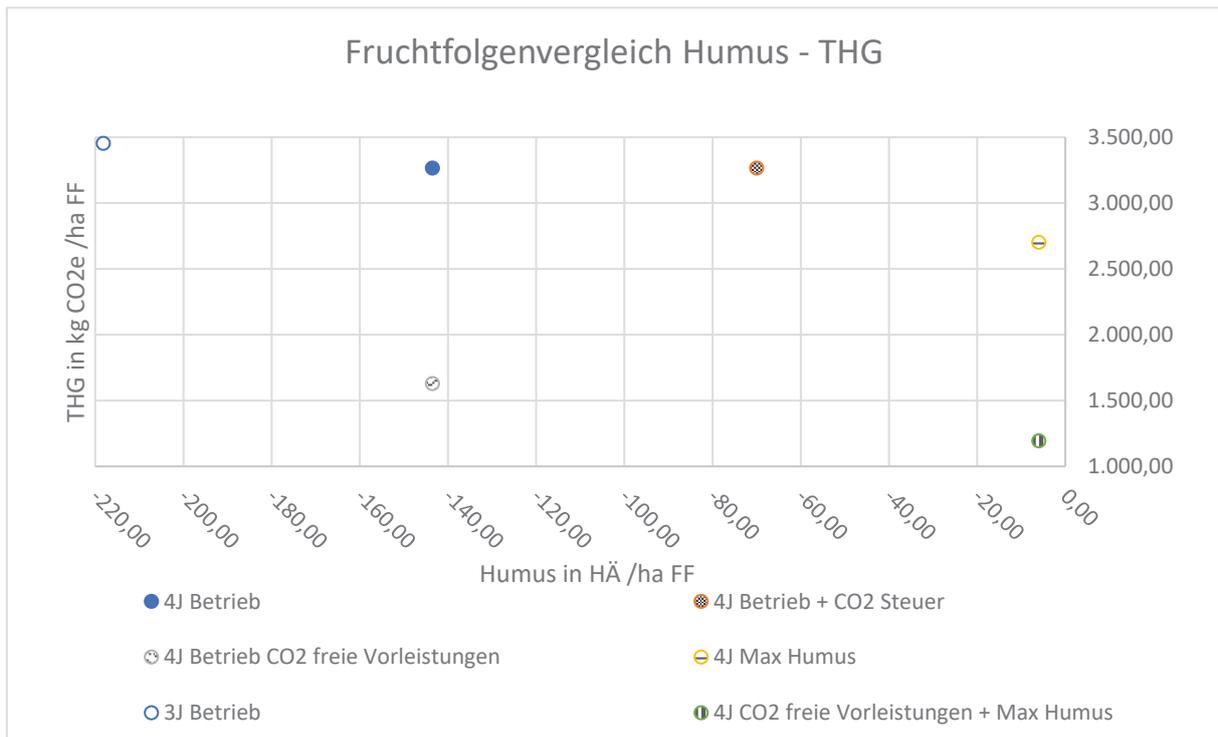


Abbildung 30: Vergleich der Fruchtfolge bei einer bestehenden Relation zwischen Humus und Treibhausgasemissionen

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Dort zeigt sich, dass die Fruchtfolge mit Humusaufbau und treibhausgasfreien Vorleistungen am dichtesten am Ursprung und somit an der Neutralität beider Faktoren liegt. Die von der Neutralität entfernteste Fruchtfolge ist die 3-jährige Ausgangsfolge. Die dargestellten Wertepaare können augenscheinlich keine Korrelation erzeugen. Dennoch belegen Berechnungen einen Wert von $-0,46$. Dieser Wert verdeutlicht das Vorliegen einer mittleren negativen linearen Korrelation. Das bedeutet, umso höher der Treibhausgasausstoß ist, umso geringer ist die Humuszunahme.

Zusammenfassend kann geschlussfolgert werden, dass durch die Anpassung des Betriebs in der Fruchtfolge hin zu einer 4-jährigen Anbaupause in Pflanzkartoffeln keine Verbesserung der Treibhausgasemissionen erzielt werden konnte. Dennoch ist aber die Reduktion des Humusabbaus möglich. Durch die Anpassung der Fruchtfolge zu maximalem Humusaufbau kann die humusabbauende Wirkung der Pflanzkartoffel Fruchtfolge neutralisiert werden. Gleichzeitig wird mit dieser Umstellung die Treibhausgasemission, wenn auch unwesentlich, reduziert. Damit ist es möglich, entsprechend der betrieblichen Standards, eine Kartoffel Fruchtfolge ohne größeren voranschreitenden Humusabbau zu erstellen. Eine Treibhausgasneutralität ist jedoch nicht möglich. Selbst unter neutraler Vorproduktion bleibt die primäre Produktion mit einem hohen Treibhausgasausstoß behaftet.

6.3. Trade off zwischen ökologischen und ökonomischen Zielen

In diesem Abschnitt soll eine Zusammenfassung der ökonomischen und ökologischen Faktoren erfolgen. Hierfür wird der Frage nachgegangen, ob durch einen hohen Deckungsbeitrag einer Kultur auch auf einen hohen CO₂-Fußabdruck zu schließen ist. Außerdem soll überprüft werden, ob die Fruchtfolge mit dem höchsten Humusgehalt auch zeitgleich die wirtschaftlichste ist und ob sich ökologische und ökonomische Faktoren verknüpfen lassen können. Als letzter Punkt wird der Sachverhalt betrachtet, ob durch einen äußeren Eingriff, mittels einer CO₂-Steuer, die ökonomische Attraktivität der humusmehrenden Fruchtfolge im Vergleich zu der 3-jährigen Anbaupause und der 4-jährigen betriebseigenen Anbaupause gesteigert werden kann.

Für den Zusammenhang zwischen Deckungsbeitrag und Fußabdruck wird die nachfolgende Abbildung 31 zu Hilfe genommen.

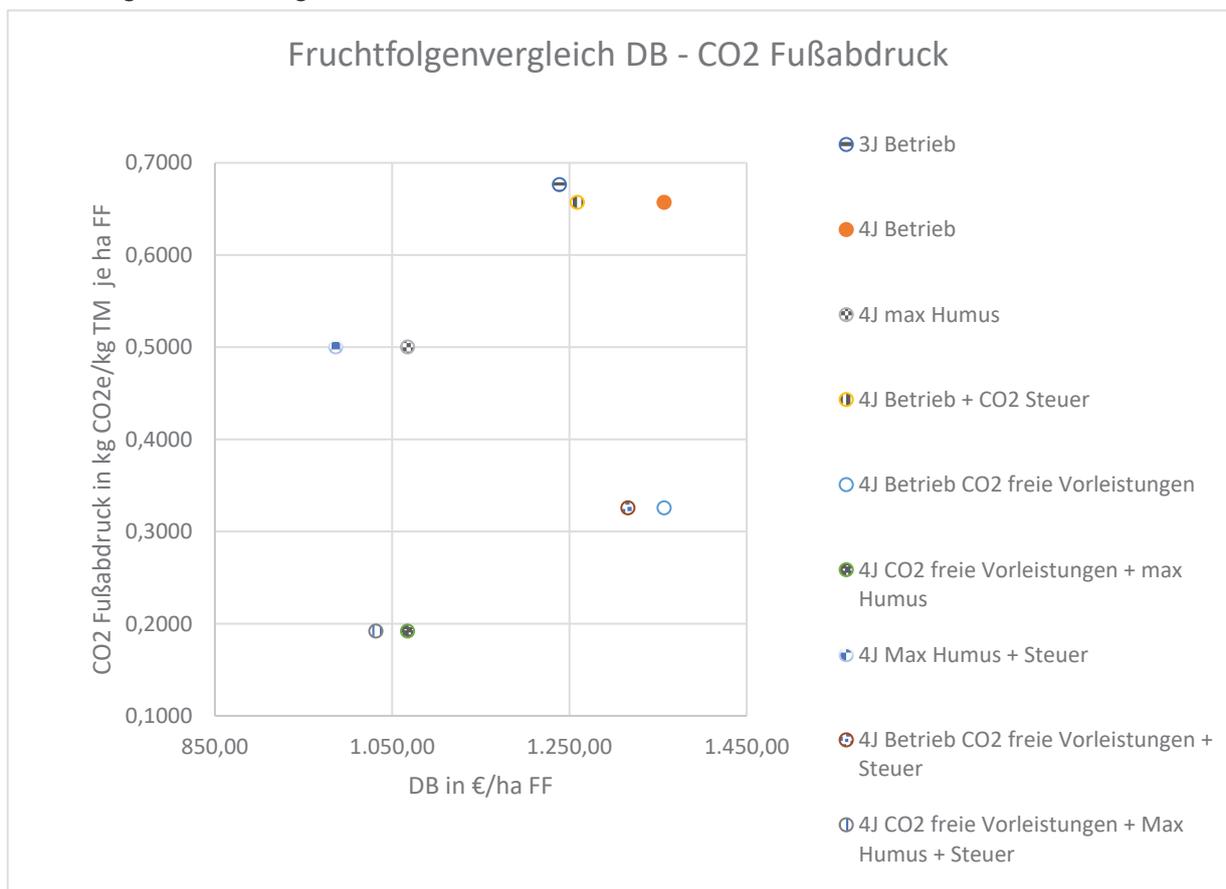


Abbildung 31: Fruchtfolgenvergleich auf Hektarebene unter Maßgabe des Deckungsbeitrages und des CO₂-Fußabdruckes

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Der höchste Deckungsbeitrag wird von der betriebseigenen Fruchtfolge mit 4 Jahren Anbaupause erzeugt. Ohne CO₂-freie Vorleistungen werden, mit kleiner Differenz zum Status quo, ebenfalls die höchsten Treibhausgasemissionen erwartet. Allerdings kann durch treibhausgasfreie Vorleistungen der zweitniedrigste Fußabdruck mit gleichzeitig dem höchsten Deckungsbeitrag erreicht werden. Der niedrigste CO₂-Fußabdruck ist zugleich mit dem

niedrigsten Deckungsbeitrag behaftet. Eine Korrelation kann nachgewiesen werden. So ergibt sich rechnerisch ein Wert von 0,34. Dieser lässt auf eine beinahe mittlere positive lineare Korrelation schließen. Es herrscht ein Zusammenhang zwischen dem durchschnittlichen Deckungsbeitrag einer Fruchtfolge und dessen CO₂-Fußabdruck. Daraus ergibt sich die Schlussfolgerung, dass umso höher der durchschnittliche Deckungsbeitrag einer Fruchtfolge ist, umso höher ist dann auch der CO₂-Fußabdruck.

Als ein weiterer Faktor für die Verbindung von Ökologie mit Ökonomie kann der Zusammenhang zwischen Humusproduktion und dem Deckungsbeitrag gesehen werden. Hier besteht eine starke negative lineare Korrelation von -0,86. Das bedeutet, dass mit steigendem Deckungsbeitrag ein größerer Humusabbau betrieben wird. Diese ist auf der nachfolgenden Grafik 32 dargestellt. Die Y-Achse gibt den durchschnittlichen Deckungsbeitrag wieder und die X-Achse die Humusäquivalente.

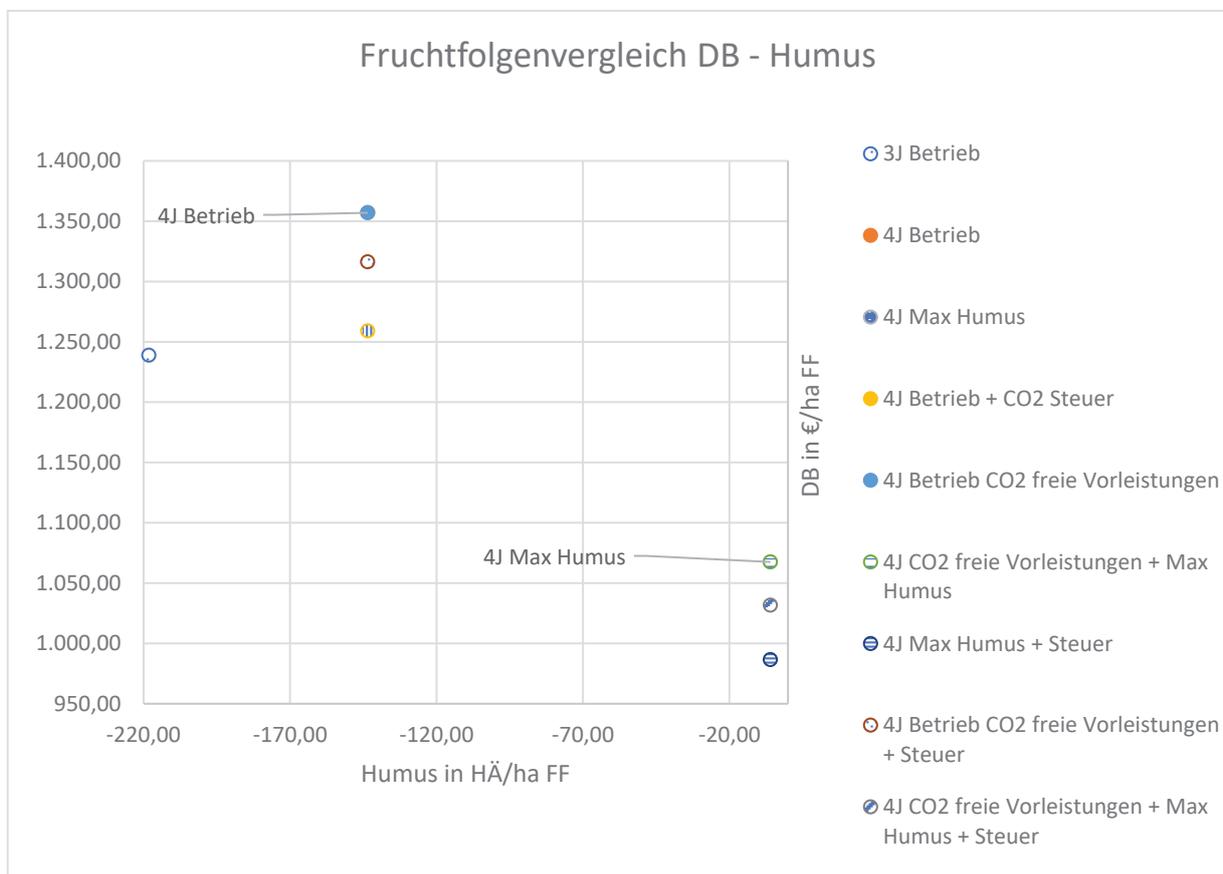


Abbildung 32: Fruchtfolgenvergleich unter Maßgabe des durchschnittlichen Deckungsbeitrags und der Humusbilanz je Hektar

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Wie bei den anderen Grafiken überlagern sich auch in dieser einige Punkte gegenseitig. Dennoch ist zu erkennen, dass die ursprüngliche 3-jährige Anbaupause einen Deckungsbeitrag von 1.238,91 €/ha hat und eine humuszehrende Wirkung von 218,41 HÄ/ha aufweist. Die 4-jährige Anbaupause mit maximalem Humusaufbau und Treibhausgassteuer verzeichnet den niedrigsten Deckungsbeitrag, aber die beste Humusbilanzierung. Durch die

errechnete Korrelation kann festgehalten werden, dass je höher der Deckungsbeitrag ist, umso niedriger ist das Humusaufbaupotential, anders beschrieben, desto höher ist der Humusabbau. Aufgrund der Einführung einer Treibhausgassteuer wird die Wirtschaftlichkeit der Fruchtfolgen verändert. Abgebildet wird dies in einer Break-Even-Analyse in der nachfolgenden Abbildung 33. Dargestellt wird auf der X-Achse die CO₂-Steuer in €/t CO₂ und auf der Y-Achse der DB der jeweiligen Fruchtfolge.

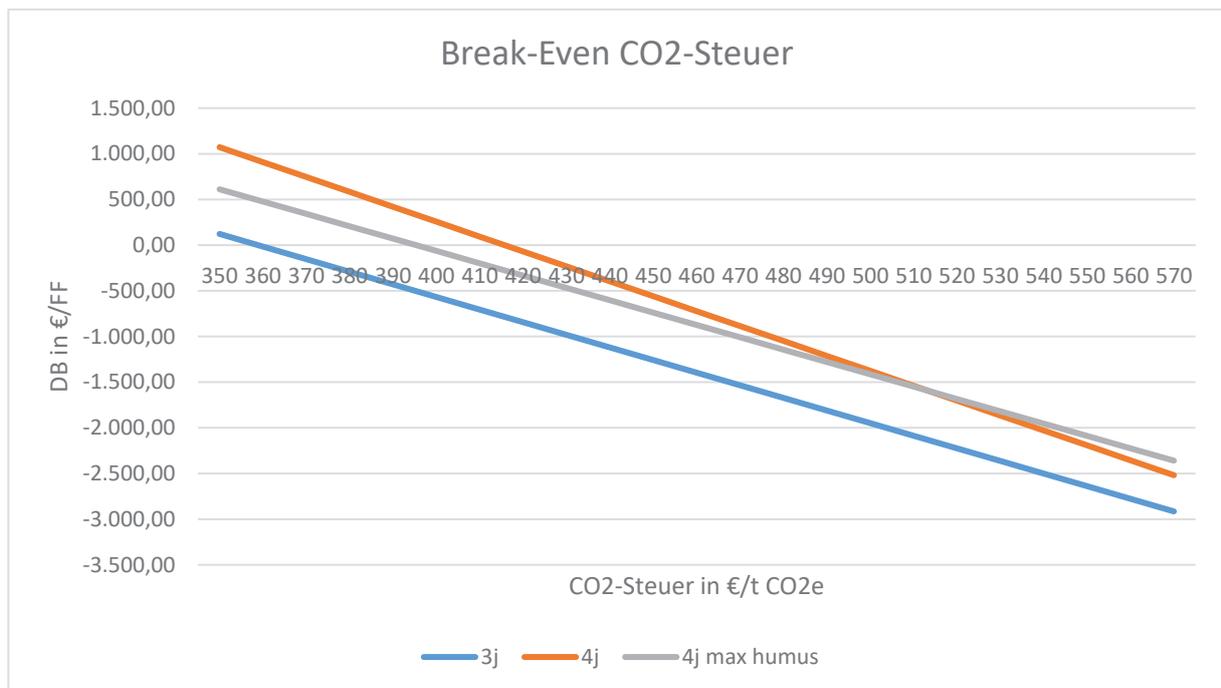


Abbildung 33: Einfluss der CO₂-Steuer auf die Wirtschaftlichkeit der Fruchtfolgen; Darstellung des Break-Even zwischen den Fruchtfolgen Betriebseigen 4 Jahre und 4 Jahre maximal Humus in Abhängigkeit der CO₂-Steuer und der summierten Deckungsbeiträge

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Zu beachten ist, dass die Darstellung des Betrags der CO₂-Steuer bei 350 €/t CO₂ anfängt und bei 570 €/t CO₂ aufhört. Dies hat den Hintergrund, dass so der Schnittpunkt der Geraden besser erkennbar wird.

Bei einer gleichmäßigen Besteuerung aller Fruchtfolgen fällt erst ab einem Steuerwert von 513,41 €/t CO₂ der Deckungsbeitrag der betriebseigenen Fruchtfolge unter den der humusoptimierten Fruchtfolge. Dabei muss festgestellt werden, dass zu diesem Zeitpunkt der Deckungsbeitrag für beide Fruchtfolgen bei -1.594,87 € liegt. Der negative Deckungsbeitrag wird dadurch bedingt, dass dieser 0,00 €/ha bei einer Steuerlast von 358,89 €/t CO₂e für die Ausgangsfruchtfolge mit 3 Jahren Anbaupause erreicht. Auch der Deckungsbeitrag für die 4-jährige betriebseigene Anbaupause erlangt bei einer Steuerlast von 415,70 €/t CO₂e, 0,00 €/ha. Die humusoptimierte Fruchtfolge mit 4 Jahren Anbaupause erbringt zwischen den beiden vorhergenannten Fruchtfolgen einen Deckungsbeitrag von 0,00 €/ha. Hierfür beträgt die Steuerlast 395,29 €/t CO₂e. Damit ist die Einführung einer CO₂-Steuer nicht geeignet, um

in der Deckungsbeitragsbetrachtung die ökologische Fruchtfolge über eine ökonomische zu stellen.

Beim Vergleich der beiden 4-jährigen Fruchtfolgen auf Hektarebene und unter sonst gleichen Bedingungen können dieselben Schnittpunkte mit der X-Achse festgestellt werden. Entsprechend der nachfolgenden Grafik 34 liegt der Schnittpunkt der beiden Graphen bei einem Steuerbetrag von 516,91 €/t CO₂e. Der Deckungsbeitrag der ökonomischen Fruchtfolge fällt ab einem Wert von -328,14 €/ha unter den der ökologischen Fruchtfolge.

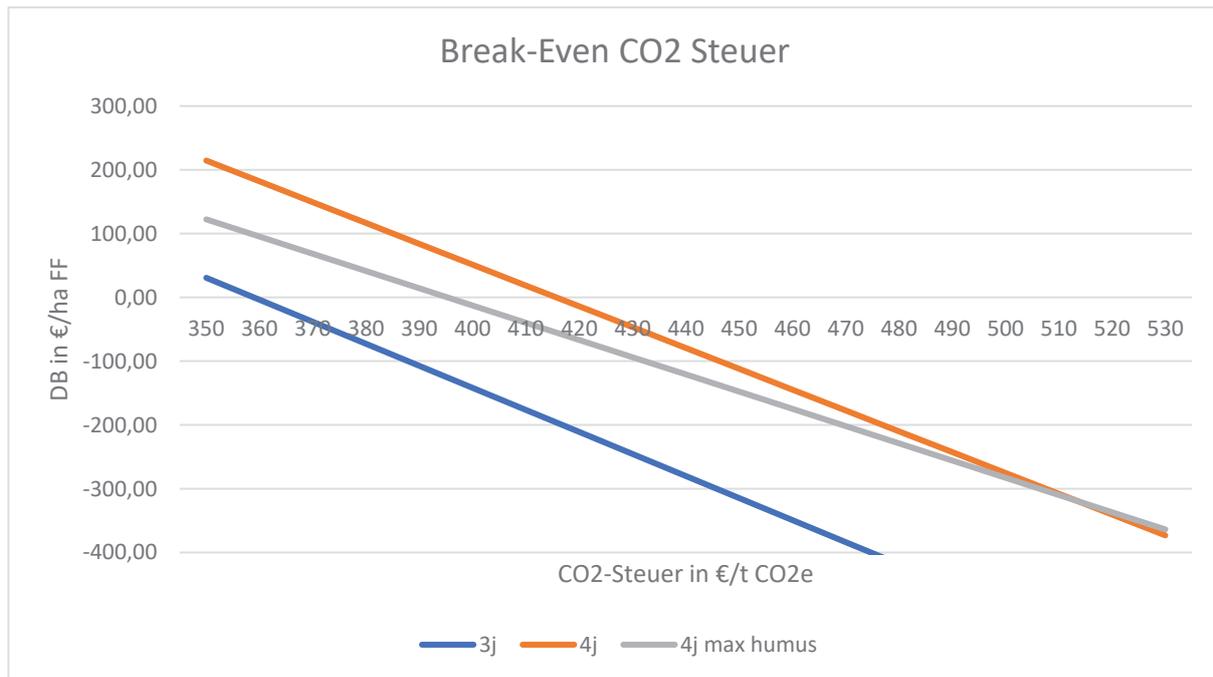


Abbildung 34: Einfluss der CO₂-Steuer auf die Wirtschaftlichkeit der Fruchtfolgen; Darstellung des Break-Even zwischen den Fruchtfolgen Betriebseigen 4 Jahre und 4 Jahre maximal Humus in Abhängigkeit der CO₂-Steuer und des durchschnittlichen Deckungsbeitrags

Quelle: Betriebsdaten, eigene Weiterrechnung, eigene Darstellung

Es muss geschlussfolgert werden, dass ein Zusammenhang zwischen ökologischen und ökonomischen Faktoren besteht. Eine Korrelation zwischen dem Deckungsbeitrag und dem CO₂-Fußabdruck ist erkennbar und nachgewiesen. Darüber hinaus ist die Fruchtfolge mit dem höchsten Potential zum Humusaufbau zeitgleich auch die wirtschaftlich schwächste. Bei der Einführung einer CO₂-Steuer ergeben sich gesamtbetrieblich nur Nachteile. So kann zwar die Höhe der Steuer über eine Anpassung der Fruchtfolge abgefangen werden, allerdings ist diese Anpassung auch mit einer Verringerung der Wirtschaftlichkeit gleichzusetzen. Mit Hilfe einer Treibhausgassteuer kann die Wirtschaftlichkeit der ökologischen Fruchtfolge nicht gesteigert werden. Die ökologisch ausgerichtete Fruchtfolge kann erst bei einem Deckungsbeitrag von -1.594,87 € oder -328,14 €/ha im Vergleich zur ökonomisch ausgerichteten Fruchtfolge einen höheren Deckungsbeitrag einfahren. Ein anderer Ansatz zur ökonomischen Aufbesserung der ökologischen Fruchtfolge ist der Zertifikathandel, der den freiwilligen Humusaufbau und die Bindung von Kohlenstoff zusätzlich honoriert, wie im nachfolgenden Kapitel ersichtlich wird.

6.4. Exkurs Zertifikathandel

Am Markt gibt es bereits einige Anbieter, die den Zertifikathandel betreiben. Dabei wird die Humusmehrung und die CO₂-Emissionsbindung mit Zertifikaten und einem monetären Wert belegt. Wie dieser Zertifikathandel funktioniert und welche Vor- bzw. Nachteile damit verbunden sind, wird in diesem Kapitel erörtert. Zusätzlich stellt sich die Frage, ob damit die ökologische Fruchtfolge mit 4 Jahren Anbaupause und maximalem Humusaufbau einen höheren Deckungsbeitrag aufweisen kann als die betriebseigene 4-jährige Anbaupause.

Humusaufbau ist ein lang andauernder Prozess. Dennoch kann mit diesem eine CO₂-Senke im Ackerboden erzeugt werden. Somit ist dieser Effekt nicht nur in Wäldern, sondern auch auf der landwirtschaftlichen Produktionsfläche auffindbar. Jedoch ist die Bearbeitung des Bodens dabei von entscheidender Bedeutung. Es muss dauerhaft viel organische Substanz auf dem Ackerboden auffindbar sein. Das bedeutet, dass zu Sommerungen zwingend Zwischenfrüchte angebaut werden müssen. Auch bleibt der Anbau von Leguminosen und tief wurzelnden Pflanzen unumgänglich (Zinke, 2019).

Die Bodenbearbeitung bestimmt die Menge an Humus im Boden. Dennoch konnte in einem 21-jährigen (1992-2013) Feldversuch aufgezeigt werden, dass zwar die Anreicherung an Humus durch verschiedene Bodenbearbeitungsverfahren verändert werden kann, dies aber keinen Einfluss auf die gesamte organische Masse über alle Horizonte hinweg hat. Dies zeigt die nachfolgende Grafik 35. Daraus geht hervor, dass das Pflügen nicht zu den humuszehrenden Bearbeitungsvorgängen gezählt werden kann. Es findet lediglich eine Verlagerung der organischen Substanz in tiefere Bodenschichten statt. Genauso kann durch das Direktsaatverfahren keine Organik im Unterboden angereichert werden (Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft (a), o.D.).

Ab einer Messtiefe von 40 cm gleichen sich die Werte der Bearbeitungsvarianten an. Während das Pflügen seine Stärken ab einer Tiefe von 10 cm ausspielen kann und dort die größte Ansammlung von organischem Material generiert, erreicht diesen Wert die Direktsaat bis 10 cm Bodentiefe. Lediglich der Grubber kann sich nicht gegen die beiden Varianten durchsetzen. Der höchste Wert für die Direktsaat befindet sich bei einer Bodentiefe zwischen 0 und 5 cm.

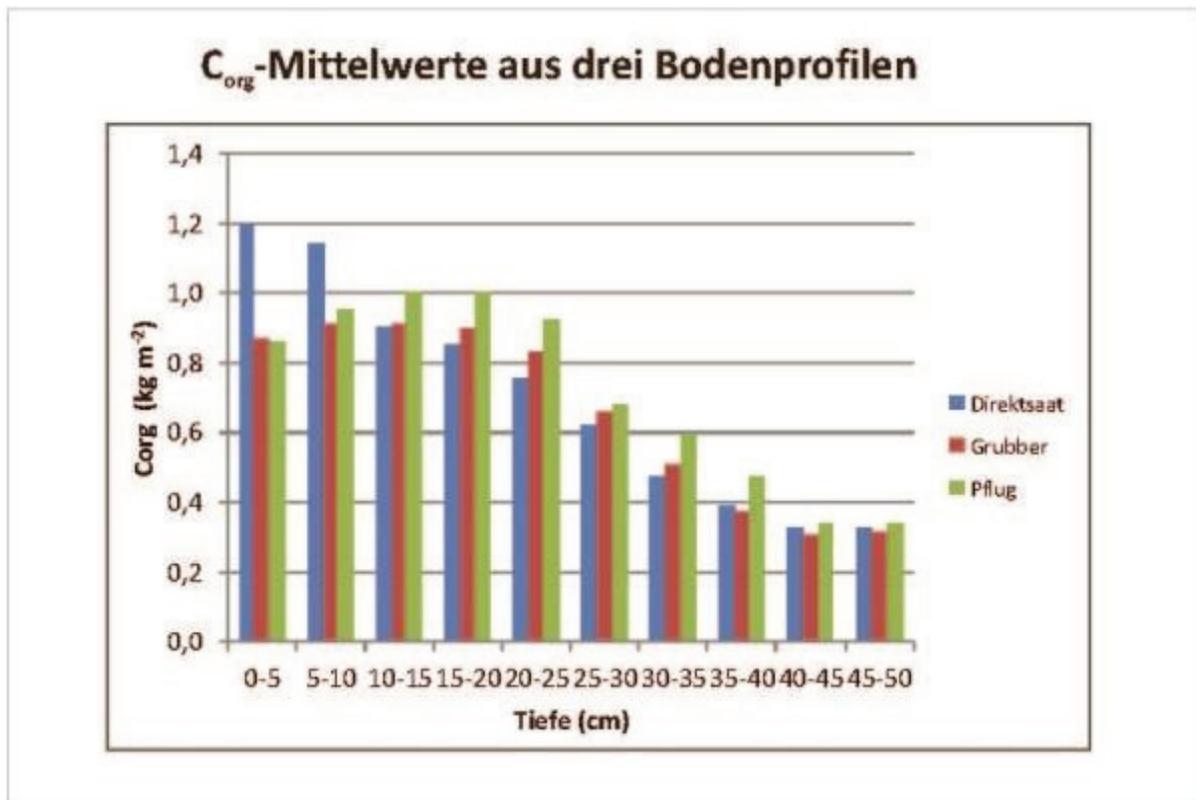


Abbildung 35: Vergleich verschiedene Bodenbearbeitungsverfahren und deren Auswirkung auf die organische Substanz im Boden, Messung von C_{org} in kg m^{-2} im Boden in 5 cm Schritten zwischen 0 - 50 cm Bodentiefe
Quelle: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (a), o.D.

Doch wie kann dieses Wissen helfen? In den vorangegangenen Berechnungen wird in einigen Fruchtfolgen bereits eine CO_2 -Steuer angenommen. Diese wird je Kultur angesetzt und vergibt sowohl Vergütungen für Bindungen als auch Besteuerungen für Emissionen zu einem festgelegten Preis von 30 €/t CO_2e . Daneben kann wie bereits erwähnt, ein freiwilliger Zertifikathandel betrieben werden. Humuszertifikate werden nach dem mengenmäßigen Zuwachs an Humussubstanz vergeben. Dafür erfolgen verschiedene Messungen über einen Zeitraum von 2 bis 5 Jahren je nach Anbieter des Zertifikats. Ein Anbieter von Zertifikaten ist die Firma Carbocert aus Baden-Württemberg (Zinke, 2019).

Eigenen Angaben zufolge hat die Firma unter anderem bereits über 440 teilnehmende Landwirte mit insgesamt über 21.000 ha Humusaufbaufläche für sich gewinnen können. Carbocert gibt an, dass damit durchschnittlich über 5 t CO_2e je Hektar gespeichert werden. Durch die Umsetzung von regenerativen Maßnahmen ist von einer durchschnittlichen Zunahme von 0,1 bis 0,2 % auszugehen (Carbocert, o.D.).

Dennoch wird de facto nicht der Humusaufbau honoriert, sondern, durch mehrschichtige Umrechnungen mit verschiedenen Faktoren, der darin gespeicherte Kohlenstoff und die Funktion der Treibhausgas-Senke.

Nach den Berechnungen von Carbocert ist bei einem Aufbau von 1 % Humus, ein Erlös von 1.200 €/ha zu erwarten (Zinke, 2019).

Bei einer beschriebenen Zunahme wäre dies nach 5 bis 10 Jahren intensiven Aufbaus der Fall. Des Weiteren erfolgt die Auszahlung basierend „auf der Differenz des berechneten CO₂-Gehalts aus der Erst- und der Folgeuntersuchung“ (Carbocert, o.D.). Es verbleibt ein Puffer aus 20 % der errechneten CO₂-Menge, um einen möglichen Humusabbau, welcher sich in Folgeuntersuchungen ergeben könnte, abzufangen (Carbocert, o.D.).

Da keine Ausgangswerte zur Bestimmung des Humusgehalts geliefert werden konnten, kann keine exakte Berechnung vorgenommen werden. Sollte allerdings ein Humusgehalt durch die betriebene humusmehrende Fruchtfolge von 1 % nachgeliefert werden, ergibt sich daraus eine angenommene Erhöhung des Deckungsbeitrags von 1.200 €/ha. Wird diese zum bestehenden Deckungsbeitrag von 1.067,52 €/ha addiert, ergibt das einen durchschnittlichen Deckungsbeitrag von 2.267,52 €/ha. Da der Deckungsbeitrag je Hektar für die betriebseigene Fruchtfolge bei 1.356,99 €/ha liegt, konnte eine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit um 910,53 €/ha bewiesen werden. Beachtenswert ist, dass durch die hohe zeitliche Differenz der Bodenprobenentnahmen und auch nur bei Erreichen einer Zunahme von 1 % Humus ein so hoher zusätzlicher Deckungsbeitrag gewährt wird.

7. Diskussion und Empfehlungen

Beginnend mit der Zusammenfassung der Ergebnisse dieser Arbeit hat die Literaturanalyse ergeben, dass die Kartoffel, wie wir sie heute kennen, in ihrer Herkunft noch nicht vollständig erforscht ist. Ebenso war der Weg auf die Teller dieser Welt von vielen Hindernissen geprägt. War es auf der einen Seite einfach die Abneigung seine Nahrung in der Erde suchen zu müssen, war es auf der anderen Seite eine fehlerhafte Kommunikation und die Bezeichnung, giftig zu sein. Trotz allem scheint sie die Menschen schon immer fasziniert zu haben, denn nur so konnte sie sich auf der ganzen Welt ausbreiten, auch wenn dies mit Hungersnöten, neuen Krankheiten und Schädlingen einherging, die sich genau wie die Knolle auf der ganzen Welt ausbreiteten. Heute hat sie ihren Stellenwert als vollwertiges Nahrungsmittel sicher und ist nicht mehr vom Teller wegzudenken. Dies wird dadurch belegt, dass jeder Deutsche im Wirtschaftsjahr etwa 56 kg von diesen Knollen konsumiert hat, allerdings nicht nur rein als frische Kartoffel, sondern auch in verarbeiteter Form. Die Nutzung der Kartoffel kann so weitreichend und unterschiedlich sein, wie kaum ein anderes Naturprodukt. Sie steht in der deutschen Landwirtschaft an 6. Stelle der produzierten Güter und das, obwohl die landwirtschaftliche Fläche zur Kartoffelproduktion stetig sinkt. Die geernteten Kartoffelmengen bleiben trotz jährlicher Schwankungen konstant. Nicht zuletzt ist das vor allem auf immer leistungsfähigere Sorten zurückzuführen und immer weitere Züchtungen. Mit einer Erntemenge von 460 dt/ha produziert Nordrhein-Westfalen die meisten Kartoffeln. Auf Platz 5 aller Bundesländer liegt Mecklenburg-Vorpommern mit beinahe 344 dt/ha. Trotz des niedrigeren Durchschnittsertrags ist der Kartoffelanbau in Mecklenburg-Vorpommern besonders geschützt. Hier gilt die Gesundlagenregelung, wodurch ein besonderer Anreiz für die Ansiedelung von Züchtungsunternehmen geschaffen wurde. Ebenso kann auch der konventionelle Kartoffelanbau von den besonderen klimatischen Gegebenheiten profitieren. Dennoch müssen beim Anbau neben den ökonomischen auch die ökologischen Faktoren berücksichtigt werden. So gibt es aus der Politik durch das Kyoto-Protokoll und das Pariser Abkommen verschiedene Maßnahmenkataloge und Aktionsprotokolle, in denen zu mehr Klimaschutz aufgefordert wird. Es soll eine Grenze im Bereich der durchschnittlichen Erderwärmung von 1.5 °C nicht überschritten werden. Maßnahmen richten sich in erster Linie an die Eingrenzung des Treibhausgasausstoßes. Landwirtschaftlich betrachtet, ist dies die Reduzierung im Düngemiteleinsetz. Hier sind die größten Emissionsquellen auffindbar. Durch den Düngemiteleinsetz werden etwa 66 % aller landwirtschaftlichen Emissionen ausgestoßen. Der größte Anteil dieser Emissionen fällt auf die Vorleistungen, also der Herstellung der Düngemittel, zurück. Hier werden 47 % ausgestoßen. Weitere 42 % entstehen durch direkte N₂O-Emissionen aus dem Boden. Nur insgesamt 11 % der Emissionen entstammen indirekter N₂O Emissionen aus Auswaschung und der N-Deposition. So zeigt sich, dass nicht die Art und Weise, wie genau der Dünger gestreut wird, entscheidend ist,

sondern dass die Vorleistungen emissionsärmer gestaltet werden müssen. Ein besonderer Schutz gilt dabei den Böden, da hier bis zu 42 % der N₂O-Emissionen frei werden. Passend dazu entstehen im gesamten Marktfruchtbau 10 % der Treibhausgasemissionen durch Humusabbau. Daher ist es für die Landwirtschaft ratsam, die betriebliche Fruchtfolgegestaltung auf ein wirtschaftlich verträgliches Maß zu schrauben und das Hauptaugenmerk, dem Aufbau von Humus zu widmen. Leguminosen können dabei von essenzieller Bedeutung sein. Diese haben niedrige Treibhausgasbilanzen, positive Humusbilanzen und eine stickstoffanreichernde Wirkung im Boden. Dadurch kann parallel in allen Punkten ein Maximum an Treibhausgasen eingespart werden. Die Landwirtschaft sollte versuchen, ihre CO₂-Fußabdrücke zu verringern. Dabei ist ein probates Mittel, die Produktion des einzelnen Erntegutes auf ein Maximum hochzufahren, damit die entstandenen Treibhausgase sich auf die geerntete Trockenmasse stärker verteilen. Als pflanzenbauliche Maßnahme ist der Anbau von Zwischenfrüchten, nicht außer Acht zu lassen. Diese binden Nährstoffe und schützen den Boden vor Erosion. In Bezug zur Art und Zusammensetzung der Zwischenfruchtmischung und unter korrekter Berücksichtigung spezieller Abhängigkeiten wird mit der Masse an Aufwuchs, im Vergleich zu anderen Kulturen, viel Humus aufgebaut. Weit höhere Werte werden beispielsweise durch die Nutzung eines größeren Pools an Leguminosen erreicht. Auf den Beispielbetrieb bezogene Ergebnisse sind, dass durch das spezialisierte Produktionsverfahren der Saatgutvermehrung, ein hoher Kostenfaktor in der Deckungsbeitragsrechnung in allen Kulturen aufzufinden ist. So fällt im Schnitt über alle Kulturen hinweg, unabhängig ob Saatware oder Marktware, ein Arbeitszeitbedarf von 21,25 Akh/ha an. Dieser Wert wird vor allem durch den Pflanzkartoffelanbau in die Höhe getrieben. Wird bei Wintergerste beispielsweise 1,10 Akh/ha für die Selektion gebraucht, so sind es in der Pflanzkartoffel 34,07 Akh/ha. Dieser Arbeitsaufwand ist nur durch eine Vielzahl an Arbeitskräften zu bewältigen. Ein hoher Kostenanteil entfällt besonders in Pflanzkartoffeln auf die Lohnkosten. Bei anfallenden 128,73 Akh/ha werden 1.878,08 €/ha an Löhnen fällig, wobei die Lohnnebenkosten noch nicht miteinbezogen sind. Dennoch muss bei der Analyse der Pflanzkartoffeln Berücksichtigung finden, dass die nicht verkaufbare Marktware als eigenes Pflanzgut im Wirtschaftsbereich weitergenutzt werden kann. Dadurch wird die Wirtschaftlichkeit der Wirtschaftskartoffeln noch weiter gesteigert. In Zahlen heißt dies, dass bei einem Mix aus teils zugekauftem und teils eigenentnommenem Ausgangsmaterial ein durchschnittlicher Preis von 694,30 €/ha auf den Betrieb zukommt. Sollte zu 100 % zugekauft werden, so liegt der zu kalkulierende Preis bei 1.250 €/ha. Der größte Umsatz entfällt auf Seiten der Pflanzkartoffeln. Im Schnitt werden 6.150,00 €/ha erreicht. Dennoch stehen diesem hohen Erlös an Pflanzkartoffeln ebenso hohe variable Kosten entgegen. Diese sind mit bis zu 5.881,87 €/ha zu kalkulieren. Hiervon sind fast ein Drittel mit 31,92 % Lohnkosten. Nach Abzug aller Kosten bleiben 268,13 €/ha übrig. Dieser im Vergleich zu anderen Kulturen sehr niedrige

Deckungsbeitrag ermöglicht keine großen Preisschwankungen im Betriebsmittelbereich. Zudem muss bei einer Analyse der Daten auf die Arbeitsproduktivität eingegangen werden. Mit 128,73 Akh/ha wird für die Pflanzkartoffelproduktion sehr viel Arbeitszeit veranschlagt. Möglichkeiten der Optimierung liegen dabei in vollautomatischen Sortiergeräten. Das Erntegut wird per photoelektrischem Sensor auf äußerliche Qualitätskriterien überprüft. Diese Investition gilt es genauestens abzuwägen, da große Summen für die Anschaffung zu erwarten sind. Dennoch kann dadurch eine Einsparung von 34,07 Akh/ha oder 425,88 €/ha erzielt werden. Eine Investition erscheint, bedingt durch Fachkräftemangel und steigende Mindestlöhne auch für ungelernte Arbeitskräfte, als erstrebenswert. Dies gilt es, durch weitere Forschungen und Analysen jedoch noch erst zu belegen. Als Vorleistung für eine solche Forschung kann die Bachelorarbeit von Franz Sebastian Kasten (2022) dienen. Neben den in der Bachelorarbeit beschriebenen wesentlichen Merkmalen und Problemen bedarf es einer genauen einzelbetrieblichen ökonomischen Analyse.

Bei einer rein wirtschaftlichen Betrachtung muss bei einer strikten Betriebsführung der Ausschluss der Pflanzkartoffel aus dem Produktionssystem erfolgen. Nachteilig dabei ist, dass Pflanzgut auch für andere Produzenten, die dieses selbst nicht herstellen, verloren geht. Das kann entweder durch eine Substitution durch andere Vermehrer ausgeglichen werden, oder Anbaufläche für die Wirtschaftskartoffel fällt im größeren Maß weg. Ausgehend von einer Fläche von einem Hektar Pflanzkartoffeln, welche auf dem Betrieb produziert wurden, wäre dies mit einer Anbaufläche von ungefähr 9,04 ha Wirtschaftskartoffeln bei einer Aufwandmenge von 2,5 t/ha Pflanzgut gleichzusetzen. Sollte sich der Betrieb dafür entscheiden, alle Pflanzkartoffelflächen aufzugeben, bedeutet das bei 2,5 t/ha Pflanzguteinsatz ein Minus von 1.283,68 ha Wirtschaftskartoffeln. Bei einer gesamten deutschlandweiten Kartoffelfläche von etwa 258.000 ha im Jahr 2021, fehlt somit für 0,49 % der gesamten Anbaufläche das Pflanzgut. Es ist zwar mit keinen Einschnitten in der Ernährung der Bevölkerung zu rechnen, dennoch sollte aufgrund der phytosanitären Vorfruchtwirkung an einem generellen Kartoffelanbau festgehalten werden. Aufgrund der höheren Deckungsbeiträge eignen sich hierfür vor allem Wirtschaftskartoffeln. Diese sind weniger arbeitsintensiv und unterliegen weniger Restriktionen im Anbau. Um den hohen Deckungsbeitrag halten zu können, sollte auf einen Pflanzkartoffelanbau nicht im Ganzen verzichtet werden. Es erscheint daher praktikabel eine 100-prozentige Eigenentnahme aus den Pflanzkartoffeln zu beziehen. Sollte, aufgrund jahrelanger Partnerschaften mit Züchtern, ein guter Wille der Betriebsführung gezeigt werden, könnten geringe zusätzliche Anbauten hilfreich sein. Dennoch sollte aus dieser Überlegung heraus auch auf die ökologischen Folgen eines solchen Anbaus geschaut werden. Es handelt sich vor allem um Treibhausgasemissionen und Humusabbau. Mit einem Treibhausgasausstoß von 6.807,81 kg CO₂e/ha in Pflanzkartoffeln und 7.718,17 kg CO₂e/ha in Wirtschaftskartoffeln

werden hier enorme Summen an Treibhausgasen frei. Ebenso schlecht sieht die Bilanz auf Seiten des Humus aus. Durch den landwirtschaftlichen Anbau von Kartoffeln werden 1000 HÄ/ha abgebaut. Eine Neutralität im Bereich der CO₂-Bilanzen kann nicht erreicht werden. Nur mit einer weitreichenden Fruchtfolge kann innerhalb von 4 Jahren Anbaupause der Humussaldo neutralisiert werden. Gleichwohl sinkt dadurch der durchschnittliche Deckungsbeitrag der Fruchtfolge auf 1.067,52 €/ha. Begründet ist dies im unwirtschaftlichen, aber ökologisch zwingend notwendigen Anbau von Zwischenfrüchten und Leguminosen.

Es wurden verschiedene Fruchtfolgen miteinander verglichen. Den Status quo gibt die Ausgangsfolge mit 3 Jahren Anbaupause. Damit kann ein durchschnittlicher Deckungsbeitrag von 1.238,91 €/ha erzeugt werden. Außerdem werden 218,14 HÄ/ha abgebaut und 3.452,04 kg CO₂e/ha ausgestoßen. Während der Bearbeitung und Erstellung der Arbeit wurde vom Betrieb eine weitere Folge als Anpassungsmaßnahme auf die Umstellung erzeugt. Es werden nach Pflanzkartoffeln abwechselnd Gerste und Raps gedreht. Das konnte den Deckungsbeitrag auf 1.356,99 €/ha steigern. Das sind 118,08 €/ha mehr Deckungsbeitrag. Gleichfalls konnte der Abbau von Humus reduziert werden. So ist mit einem Abbau von 143,48 HÄ/ha zu rechnen. Das ist im Vergleich zum Status quo 74,66 HÄ/ha mehr, die im Boden zurückbleiben. Genauso wurden 187,69 kg CO₂e/ha weniger emittiert. Dies führt zu einem durchschnittlichen Ausstoß von 3.264,35 kg CO₂e/ha. Damit gilt ein Teil der ersten Annahme als bestätigt. Trotzdem muss überprüft werden, ob eine Neutralität für Treibhausgase und eine ausgeglichene Bilanz für Humus realistisch sind. Die Überprüfung wurde mithilfe einer Treibhausgas- und Humusbilanzierung vorgenommen. Dabei fiel die Entscheidung, nach Art und Weise der guten fachlichen Praxis, auf die in Betracht kommenden stärksten Humusmehrer, um diese in eine praxistaugliche Fruchtfolge zu sortieren. Es wird erst mit einer Zwischenfrucht vor dem Pflanzkartoffelanbau gestartet. Nach den Pflanzkartoffeln erfolgt der Anbau von Hybridroggen. Danach erfolgt der Anbau einer Zwischenfrucht und Lupinen. Anschließend wird der gebundene Stickstoff mittels Rapsanbau verwertet. Die Fruchtfolge beendet der Anbau von Wintergerste. Dadurch kann ein Deckungsbeitrag von 1.067,52 €/ha erzielt werden. Zeitgleich wird eine ausgeglichene Humusbilanz mit einem Abbau von nur noch 5,96 HÄ/ha erreicht. Das bedeutet eine Verbesserung der Humusbilanz im Vergleich zum Status quo von 212,18 HÄ/ha. Treibhausgase konnten nicht neutralisiert werden, da ein Ausstoß von 2.700,62 kg CO₂e/ha erfolgte. In Bezug zum Status Quo sind trotzdem 751,42 kg CO₂e/ha weniger ausgestoßen worden. Im Vergleich dazu ist das Delta im Treibhausgasausstoß zwischen der betriebseigenen Fruchtfolge und dem Status quo geringer. Dies liegt im höheren Treibhausgasausstoß der betriebseigenen 4-jährigen Anbaupause begründet. So konnte eine Verringerung von nur 187,69 kg CO₂e/ha festgestellt werden. Die Ursache ist die intensivere Bewirtschaftung der Flächen und das damit einhergehende häufige Befahren der

Ackerflächen. Unter Einhaltung der Beispielbetriebsvorgaben ist eine Erhöhung der Ökonomie der Fruchtfolge nur mittels einer Zunahme im Bereich des Humusabbaus möglich. Dieser Zusammenhang konnte bereits erörtert werden. Erster Ansatzpunkt kann der Anbau von Winterweizen nach Raps sein. Damit sind höhere Absatzpreise bei ähnlich hohen Erträgen realisierbar. Da der Durchschnittsertrag im Weizen auf dem Betrieb nur bei 68,95 dt/ha liegt, ist der Anbau von Wintergerste auf Grund des höheren Ertrags sinnvoller. Durch den höheren Ertrag ist ein höheres Nebenproduktaufkommen zu erwarten, wodurch der Humusaufbau gefördert wird. Also liefert die Gerste durch die höheren Erträge mehr Nebenprodukt, wodurch eine positive Humusbilanz erzeugt wird. Es gilt, in weiteren Studien zu überprüfen, ob ein höherer Ertrag für Weizen nach Raps für den Beispielbetrieb zu erwarten ist, und ob damit eine Verbesserung der Klima- und Humusbilanzen erreichbar wird.

Aus der Theorie heraus ist eine Steigerung des Ertrags oder eine Senkung der Dünger- und Pflanzenschutz aufwendungen, durch die Zunahme an Humus zu erwarten. Dies sollte durch praktische Versuche und Simulationen weiter untersucht und mit genauen Zahlen belegt werden. Ohne diese zusätzlichen Benefits ist die Pflanzkartoffelfolge am wirtschaftlichsten, die den größten Treibhausgasausstoß mit sich bringt. Jene erzielt in dieser Untersuchung den höchsten Deckungsbeitrag je Hektar und den höchsten Erlös. Ebenso sollte als weiterführende Forschung eine Zeitreihe oder eine Prozentzahl aufgestellt werden, welche die Wirtschaftlichkeit des Humusaufbaus näher beschreibt. So ist denkbar, dass von unterschiedlichen Fruchtfolgen und unterschiedlichen Ist-Zuständen im Boden ausgegangen wird. Anhand einer Zeitreihe oder eines Faktors kann dann mithilfe einer Analyse der vorliegenden Fruchtfolgekulturen ein Wert bestimmt werden, ab wann beispielsweise die Nährstoffnachlieferung aus dem Boden die zusätzliche Düngierzufuhr in einer gewissen Größenordnung ablöst. Somit könnte sich, durch die sinkenden variablen Kosten, die humusaufbauende Fruchtfolge wirtschaftlicher darstellen als die vorher „konventionell“ betriebene. Da dem Betrieb keine aktuelle Ausgangsbestimmung des Humusgehalts vorliegt, befindet sich hier die Grenze der Arbeit. Ebenso kann der Humusgehalt sich nicht berechnen lassen und „[D]ie Humusbilanz ist ungeeignet zur Ermittlung des tatsächlichen Humusgehaltes“ (Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), 2019). Nicht nur die Nährstoffnachlieferung kann durch eine ökologischere Fruchtfolge im Sinne des Humusaufbaus verbessert werden. So sind bestehende Forschungen, wie zum Beispiel jene von Sabine Ander et al. (2016), über die Anwendung spezieller Fruchtfolgen und Kulturkonstellationen, in sogenannten Triplets, vorhanden. Diese Triplets bestehen aus einer Hauptfrucht, der Vorfrucht sowie der Vor-Vorfrucht. Diese wurden nach einem Risikomaß gewichtet und die bestehenden Applikationen jener Triplets im Sinne des Behandlungsindex ausgewertet. Dadurch kann ein Einfluss von Kulturkonstellationen auf den Behandlungsindex von Fungizid- und Herbizidmaßnahmen festgestellt werden. Da aber nur ein Bruchteil der

Tripletts auf die in dieser Arbeit angeführten Fruchtfolgen anwendbar ist, fehlt es an weiteren Forschungen zu diesem Thema. Dennoch kann in Anlehnung und Adaption zu der bestehenden Forschung von Sabine Ander, et al. (2016), der Zusammenhang aufgegriffen werden, dass auch hier langfristig eine Steigerung des Deckungsbeitrags durch das Herabsetzen des Pflanzenschutzaufwands zu erwarten ist. In welcher Höhe die Reduzierung Einfluss auf den Deckungsbeitrag ausüben kann, muss durch weitere Forschungen in diesem Bereich und auch explizit für den Pflanzkartoffelanbau überprüft werden.

Dies spielt eine besondere Rolle, da hiermit ein größerer Anreiz für einen ökologischeren Anbau besteht und somit ein großes Potential für einen nachhaltigen und bodenschonenden Kartoffelanbau vorliegt.

In diesem Zusammenhang sollte ein zusätzlicher Ausblick auf weitere Forschungen stattfinden. An dieser Stelle kann also die These lauten, dass es weniger auf den Umfang der Fruchtfolge ankommt, sondern mehr auf die Variation derselben. In anderen Worten bedeutet dies, dass es weniger auf die Dauer ankommt, also 3 oder 4 Jahre Anbaupause, sondern vielmehr auf die Art der Gestaltung dieser. Dabei sind Fragen zu klären, ob eine Steuer auf Treibhausgase in den Deckungsbeitrag mit hineinspielt, soll Humus gemehrt oder die Lukrativität gesteigert werden.

Allerdings ist in dieser Arbeit die empirische Grundlage nicht ausreichend vorhanden, um dahingehend näher zu forschen. Vorstellbar wäre in diesem Zusammenhang eine Ausweitung auf eine höhere Anzahl an Betrieben und die gleichzeitige Klassifikation des Anbauschwerpunkts, um mögliche Zusammenhänge näher bestimmen zu können.

Im weiteren Zusammenhang sollte der Zertifikathandel Berücksichtigung finden. So bietet dieser einen zusätzlichen Einfluss auf die Höhe des Deckungsbeitrags. Angenommen werden kann ein bis zu 1200 €/ha höherer Deckungsbeitrag als vorher. Allerdings ist noch nicht ausgeschlossen, dass durch die Zertifizierung auch ein höherer Aufwand in der administrativen Bearbeitung erfolgen muss. So könnten weitere Kosten anfallen. Dabei ist zu bedenken, dass die Liquidität des Unternehmens in den ersten Jahren geringer ausfällt. So bietet die Umstellung bei genereller stabiler wirtschaftlicher Lage eine gute Möglichkeit, nachhaltig und gewinnorientiert zu wirtschaften. Ist dies nicht zu gewährleisten, sollte vorerst Abstand genommen werden. Speziell für diesen Betrieb ist von einer hohen Ausschüttung auszugehen. Das hat den Hintergrund, dass fruchtfolgespezifisch in der Pflanzkartoffelfolge ein steter Humusabbau erfolgte. Dadurch wird mit einem geringen Ausgangswert in die Berechnung gestartet. Bereits kleine Umstellungen in der Bewirtschaftung führen zur Aufbesserung der Humusbilanz. Daher werden höhere Beträge, durch eine höhere Differenz in der Bindung an CO₂e, ausgeschüttet. Trotz allem aber bleibt der Zertifikathandel auch negativ behaftet. So wird größeren Industrieunternehmen sogenanntes „Greenwashing“

vorgeworfen, da sie Zertifikate kaufen, ohne damit aktiv etwas für den Klimaschutz zu unternehmen. Ebenso kritikfähig sind die Bewertung und die Berechnung der Besoldung. So haben Betriebe, die sich bereits für den Klimaschutz engagieren und somit zwischen erster und zweiter Messung der Organik im Boden ein kleineres Delta aufweisen, in einigen Modellen weniger Erlös zu erwarten (Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft (b), o.D.). Um diesen Nachteil auszugleichen, sollte eine andere Form der Erlösberechnung stattfinden. Beispielhaft wäre ein Faktor, der je Humusgehalt angerechnet werden kann, wenn Kriterien zur nachhaltigen Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen vorliegen. Dieser Faktor sollte in Abhängigkeit der Bodenart, der Hauptkultur und dessen Humusbilanzierung, sowie der Fruchtfolge und der bodenschonenden Maßnahmen erfolgen, um einen möglichst homogenen Bewertungsmaßstab erzeugen zu können.

8. Zusammenfassung

Hauptziel der Masterarbeit war es zu überprüfen, ob eine zwanghafte Erweiterung der Fruchtfolge in Pflanzkartoffeln einen ökonomisch lukrativen Mehrwert erzeugt und zeitgleich ökologische Vorteile mit sich bringt. Diese Vorteile sollen sich dafür in Form von Neutralität im Treibhausgasausstoß und in ausgeglichenen Humusbilanzen zeigen. Hierfür werden verschiedene Fruchtfolgen miteinander verglichen. Neben einer Einordnung der aktuellen Kartoffelanbausituation, einer Zusammenfassung der Historie des Kartoffelanbaus und einer kurzen Betriebsvorstellung einschließlich aller Kulturen sowie einem abschließenden Abriss über deren Produktionsverfahren wird mit dem Status quo begonnen. Als Arbeitsmittel für die Erschließung der Daten dienen Unterlagen des Beispielbetriebs. Hierbei wurden Lieferscheine, Rechnungen und Gutschriften hinzugezogen. Anbauspezifitäten entstammen außerdem aus der Ackerschlagkartei, um ein möglichst reales Abbild der gegenwärtigen betrieblichen Lage zu erzeugen. Der Status quo offenbarte sich in einer Anbaupause von 3 Jahren, die zuvor durch den Betrieb ausgeführt wurde. Hiermit wird ein Deckungsbeitrag von 1.238,91 €/ha erzielt, wobei 218,14 HÄ/ha abgebaut und 3.452,04 kg CO₂e/ha ausgestoßen werden. Der Beispielbetrieb hat währenddessen nun eine eigene Fruchtfolge entwickelt, die mit in die Betrachtung gerückt ist. Die Analyse hierzu ergibt einen Deckungsbeitrag von 1.356,99 €/ha, also eine Erhöhung des Deckungsbeitrags um 118,08 €/ha. Mit dieser Folge wurden 143,48 HÄ/ha abgebaut und durchschnittlich 3.264,35 kg CO₂e/ha emittiert. Es lässt sich bereits festhalten, dass ein Umstieg von 3 Jahren zu 4 Jahren Anbaupause einen Deckungsbeitragsanstieg und eine verbesserte Klimabilanz mit sich bringt. So werden 74,66 HÄ/ha weniger abgebaut und 187,69 kg CO₂e/ha weniger emittiert, wodurch ebenfalls ein erster ökologischer und ökonomischer Nutzen bewiesen ist. Zur Vollendung wurde nach einer Möglichkeit gesucht, die Ökologie weiter voranzutreiben. So wurde, unter Maßgaben der guten fachlichen Praxis und landwirtschaftlichem Verstand, eine Fruchtfolge mit Kulturen entwickelt, die humusmehrende Wirkungen entfalten. Zusammengesetzt wurde so eine Fruchtfolge, bestehend aus einer Zwischenfrucht, welche dem Pflanzkartoffelanbau vorangeht, danach erfolgt die Aussaat von Hybridroggen, einer weiteren Zwischenfrucht vor Lupinen, gefolgt von Winterraps und Wintergerste. Hiermit wird bewiesen, dass ein Ausgleich der Humusbilanz bereits bei 4 Jahren Anbaupause erreicht werden kann. Dennoch ist eine Neutralität im Treibhausgasbereich durch den größeren Betriebsmittel- und Maschineneinsatz nicht zu realisieren. Um eine höhere Wirtschaftlichkeit der humusmehrenden Fruchtfolge zu erreichen, muss versucht werden, ihre Produktion neben den geernteten Gütern weiter zu vermarkten. Ein erster direkter proaktiver Ansatz sind dabei gehandelte Zertifikate. So können diese für den Humusaufbau und das damit gebundene CO₂ über Händler und Handelsplattformen verkauft werden. Damit ist ein Deckungsbeitrag von 2.267,52 €/ha möglich.

Zur Beantwortung der Hauptthese wurden Forschungsthese entwickelt. Die Ergebnisse zeigen, dass Fruchtfolgen mit hohem Erlös gleichfalls hohe Deckungsbeiträge bewirken. Als Schlussfolgerung dazu wird deutlich, dass genau diese Pflanzkartoffel Fruchtfolgen mit hohem Deckungsbeitrag einen hohen Treibhausgasausstoß und eine schlechte Humusbilanz aufweisen. Somit sind Fruchtfolgen mit hohem Erlös schlecht für die Umwelt und den Boden. Ebenso konnte nachgewiesen werden, dass auch eine Steuer auf den Treibhausgasausstoß, gepaart mit einer Gutschrift für Einsparungen, nicht wirksam genug ist, um eine ökologisch wertvolle einer ökonomisch wertvollen Fruchtfolge vorzuziehen. Bevor dies eintritt, sind die Deckungsbeiträge beider Fruchtfolgen weit unter 0 €/ha angelangt. Unter Einbeziehung der Steuer für den Treibhausgasausstoß kann erst ab einem Deckungsbeitrag von -1.594,87 €/FF bzw. -328,14 €/ha ein identischer Deckungsbeitrag für beide Fruchtfolgen erzielt werden.

Außerdem haben die Forschungen gezeigt, dass obwohl eine neutrale Humusbilanzierung vorliegt, nicht einmal mit einem Wechsel des Energieträgers auf Wasserstoff eine Neutralität in der Treibhausgasbilanzierung erreicht werden kann. Diese liegt dann noch bei 1.192,90 kg CO₂e/ha. Dieser Ausstoß ist dabei rein auf die Entgasung von Düngern und bodenphysikalischen Prozessen zurückzuführen. Somit kann auch unter den größten Anstrengungen nur durch den eigenen Zukauf von Zertifikaten eine Möglichkeit gefunden werden, treibhausgasneutral zu werden. Wie dies sich auf die Deckungsbeiträge auswirkt, muss in weiteren Untersuchungen näher bestimmt und erforscht werden.

Grenzen der Forschung liegen in der Verallgemeinerung der Daten. So kann von den Daten, die für den Beispielbetrieb gelten, nicht unmittelbar auf andere Betriebe geschlossen werden. Dies liegt schon banal in den Durchschnittserträgen und dem Anbauverfahren begründet. Dennoch ist eine Orientierung an der Fruchtfolgegestaltung möglich und diese kann, adaptiv auf den jeweiligen Betrieb bezogen, umgesetzt werden.

Somit lässt sich abschließend sagen, dass eine Umstellung von 3 Jahren auf 4 Jahre Anbaupause eine Bereicherung für Ökonomie und Ökologie darstellt. Ökologisch sollte sich am Aufbau von Humus orientiert werden. Hierdurch wird der Boden gestärkt, und mittels Zertifikathandel kann die mangelnde Ökonomie einer solchen Fruchtfolge ausgeglichen werden. Durch vielfältige Kulturen und den Anbau von Leguminosen gestaltet sich eine solche Fruchtfolge als äußerst nachhaltig und kann somit eine ausgeglichene Humusbilanz aufweisen. Eine Treibhausgasneutralität kann zu keinem Zeitpunkt stattfinden. Lediglich über den Zukauf von externen Zertifikaten kann eine reine formale Neutralität erreicht werden. Dies grenzt dann aber an das sogenannte „Greenwashing“ des eigenen Betriebs.

Literaturverzeichnis

- Ames, M., & Spooner, D. M. (2008). DNA from herbarium specimens settles a controversy about origins of the European potato. *American Journal of Botany*, 252-257.
- Andert, S., Bürger, J., Stein, S., & Gerowitt, B. (2016). The influence of crop sequence on fungicide and herbicide use intensities in North German arable farming. *European Journal of Agronomy*, 81-89.
- Backhaus, T. (10. Juni 2020). Verordnung zum Schutz der Pflanzkartoffelerzeugung in besonders geschützten Gebieten des Landes Mecklenburg-Vorpommern (Gesundlagenverordnung Mecklenburg-Vorpommern - GesundIVO M-V). *Gesetz- und Verordnungsblatt für Mecklenburg-Vorpommern*, 495-497.
- Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft (a). (o.D.). *Humus - Humus und Landwirtschaft*. Abgerufen am 01. Juli 2023 von LfL: <https://www.lfl.bayern.de/iab/boden/095286/index.php>
- Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft (b). (o.D.). *Was sind Humuszertifikate*. Abgerufen am 01. Juli 2023 von LfL: <https://www.lfl.bayern.de/iab/boden/266146/index.php>
- Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). (2019). *Humus*. Freising: Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft. Abgerufen am 03. Juli 2023 von https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/merkblaetter/humus_lfl-merkblatt.pdf
- Beck, R., & Rippel, R. (April 2014). *Humusbilanzierung*. Abgerufen am 15. Juni 2023 von Bayerisches Landesamt für Landwirtschaft: https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iab/dateien/humusbilanz_59_betrieb_10_2015.xlsx
- Berechnungsparameter für einzelbetriebliche Klimabilanzen. (o.D.). *Berechnungsparameter für einzelbetriebliche Klimabilanzen*. Abgerufen am 26. Juni 2023 von KTBL: <https://daten.ktbl.de/bek/berechnungsparameter>
- Bergfeld, U., Böcker, H., Büscher, W., Flessa, H., Lasar, A., Reinsch, T., . . . Wulf, S. (2017). *Klimaschutz in der Landwirtschaft: Emissionsminderung in der Praxis*. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. .
- Brandt, M. (21. Juli 2023). Abgerufen am 28. September 2023 von statista: <https://de.statista.com/infografik/30456/anzahl-der-heissen-tage-in-deutschland-pro-dekade/>
- Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung. (2021). *Bericht zu Markt- und Versorgungslage Kartoffeln*. Bonn.

- Bundesinformationszentrum Landwirtschaft*. (2022). Abgerufen am 10. Mai 2023 von <https://www.landwirtschaft.de/landwirtschaftliche-produkte/wie-werden-unsere-lebensmittel-erzeugt/pflanzliche-produkte/kartoffeln/>
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (a). (o.D.). *Statistik und Berichte des BMEL: Landwirtschaft*. Abgerufen am 01. Juni 2023 von Kartoffeln und Zuckerrüben: <https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/bodennutzung-und-pflanzliche-erzeugung/hackfruechte>
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (b). (o.D.). *Statistiken und Berichte des BMEL: Versorgungsbilanz*. Abgerufen am 30. Mai 2023 von Kartoffelbilanz 2021/22: Weniger Frischkartoffeln als im Vorjahr verbraucht: <https://www.bmel-statistik.de/ernaehrung-fischerei/versorgungsbilanzen/kartoffeln/>
- Carbocert. (o.D.). Abgerufen am 01. Juli 2023 von Carbocert Gesunde Lebensräume: <https://www.carbocert.de/>
- De Jong, H. (2016). Impact of the Potato on Society. *American Journal of Potato Research*, 415-429.
- Deutscher Bauernverband. (2013). Wissenswertes über die Kartoffel. *Kartoffel TRENDS*, S. 50.
- Diepenbrock, W., Ellmer, F., & Leon, J. (2016). *Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung*. Stuttgart: Eugen Ulmer.
- Dierauer, H., Böhler, D., Kranzler, A., & Zollitsch, W. (2004). *Lupinen*. Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL). Abgerufen am 22. Juli 2023 von <https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1308-lupinen.pdf>
- Endres, A., & Rübhelke, D. (2022). *Umweltökonomie*. Stuttgart: W. Kohlhammer GmbH.
- Entrup, N. L., & Schäfer, B. C. (2011). *Lehrbuch des Pflanzenbaues: Kulturpflanzen* (Bd. 2). (N. L. Entrup, & B. C. Schäfer, Hrsg.) Bonn: AgroConcept.
- Ewald, D. (28. 03 2022). *DIE SAATGUT- UND KARTOFFELWIRTSCHAFT MECKLENBURG-VORPOMMERN – WICHTIGER PARTNER ZUR STABILEN VERSORGUNG MIT NAHRUNGSMITTELN*. Abgerufen am 03. Juli 2023 von BDS: <https://deutsche-saatguterzeuger.de/2022/03/28/die-saatgut-und-kartoffelwirtschaft-mecklenburg-vorpommern-wichtiger-partner-zur-stabilen-versorgung-mit-nahrungsmitteln/>
- Fertiactyl Starter*. (o.D.). Abgerufen am 14. Juni 2023 von Timac Agro: <https://de.timacagro.com/produkte/pflanze/fluessigprodukte/fertiactyl-starter>

- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (31. 05 2023). *FAOSTAT: Crops and livestock products*. Abgerufen am 31. Mai 2023 von <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
- Hülsbergen, K.-J., & Döhler, H. (2005). *Bewertung ökologischer Betriebssysteme: Bodenfruchtbarkeit, Stoffkreisläufe, Biodiversität*. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL).
- Kasten, F. S. (2022). *Die Qualitätsgenauigkeit einer vollautomatisierten Kartoffelsortiermaschine auf Grundlage einer fotooptischen Erkennung im Vergleich zum konventionellen Sortiersystem*. Hochschule Neubrandenburg.
- Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. (2015). Humus und Bodenfruchtbarkeit. *Ratgeber Pflanzenbau und Pflanzenschutz*, 1-5.
- Lauenstein, G. (2006). Beiträge zur Ausprägung von Resistenz und Toleranz ausgewählter Wirtschaftssorten von Kartoffeln (*Solanum tuberosum* L.) bei Befall mit Kartoffelzystennematoden (*Globodera pallida* (Stone, 1973) Behrens), Virulenzgruppe Pa2/3. *Aktuelle Beiträge zur Nethodenforschung*, 40-47.
- LEL. (16. 11 2022). *Pro-Kopf-Verbrauch von Kartoffeln in den EU-Staaten im Jahr 2018 (in Kilogramm pro Kopf)*. Abgerufen am 31. Mai 2023 von Statista: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/37703/umfrage/pro-kopf-verbrauch-von-kartoffeln-in-den-laendern-der-eu/>
- Miedaner, T. (2014). Kartoffeln – Geschenk der Götter. In T. Miedaner, *Kulturpflanzen* (S. 225-253). Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Fischerei . (2000). *Agrarkonzept 2000 : Perspektiven der Entwicklung der Kartoffelwirtschaft in Mecklenburg-Vorpommern*. Schwerin: Mecklenburg-Vorpommern, Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten u. Fischerei.
- Mußhoff, O., & Hirschauer, N. (2020). *Modernes Agrarmanagement: Betriebswirtschaftliche Analyse- und Planungsverfahren*. München: Verlag Franz Vahlen GmbH.
- Ovchinnikova, A. K., Ekaterina, G., Smekalova, T., Zhuk, T., Knapp, M., Spooner, S., & Spooner, D. M. (2011). Taxonomy of cultivated potatoes (*Solanum* section *Petota*: *Solanaceae*). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 107-155. doi:10.1111/j.1095-8339.2010.01107.x
- Pflanzenschutzdienst - Anerkennungsstelle für Saat- und Pflanzgut. (2016). *Richtlinie für die Durchführung der Feldbestandsprüfung im Rahmen der Saatenanerkennung in*

Mecklenburg-Vorpommern. Rostock: Landesamt für Landwirtschaft, Lebensmittelsicherheit und Fischerei MV.

- Prücklmaier, J., Hülsbergen, K.-J., & Maidl, X. (2016). Erprobung und Umsetzung von Maßnahmen zur Minderung der Nitratausträge in Gerste, Weizen und Mais mit dem Schwerpunkt „teilflächenspezifische Stickstoffdüngung“. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften*, 104-105.
- Putz, B. (1989). *Kartoffeln: Züchtung - Anbau - Verwertung*. Hamburg: Berh's.
- Putz, B. (1999). *Kartoffel-Lexikon*. Hamburg: Behr.
- Putz, B. (2003). Die Kartoffel als Beitrag zu einer gesunden Ernährung. *Samensurium*, 31-36.
- Schindler. (15. 11 2011). Erfolgsfaktoren im Kartoffelanbau. Nossen. Abgerufen am 06. August 2023 von https://www.landwirtschaft.sachsen.de/download/Erfolgsfaktoren_Schindler.pdf
- Schneider, M. (2022). *Vermehrungsflächen*. Abgerufen am 03. Juli 2023 von BDS: https://deutsche-saatguterzeuger.de/wp-content/uploads/2022/03/Flaeche_Erfolg_2012-2021.pdf
- Schuhmann, P. (2020). *Warenkunde Kartoffel : Züchtung, Vermehrung, Anbau, Lagerung, Vermarktung, Verarbeitung*. (P. Schuhmann, Hrsg.) Agrimedia.
- Schulz, A. (1913). *Die Geschichte der kultivierten Getreide*. Paderborn: Salzwasser Verlag GmbH.
- Seaktiv Vital*. (o.D.). Abgerufen am 14. Juni 2023 von Timac Agro: <https://de.timacagro.com/produkte/pflanze/fluessigprodukte/seaktiv-vital>
- Spooner, D. M., McLean, K., Ramsey, G., Waugh, R., & Bryan, G. J. (2005). A single domestication for potato based on multilocus amplified fragment length polymorphism genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 14694-14699.
- Statistisches Bundesamt (Destatis). (2020). *Land- und Forstwirtschaft, Fischerei: Wachstum und Ernte - Feldfrüchte* -. Wiesbaden. Abgerufen am 01. August 2023 von https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Feldfruechte-Gruenland/Publikationen/Downloads-Feldfruechte/feldfruechte-august-september-2030321202094.pdf?__blob=publicationFile
- Statistisches Bundesamt. (06. 02 2023). *Ertrag ausgewählter Getreidearten in Deutschland je Hektar Anbaufläche in den Jahren 1960 bis 2022 (in Dezitonnen)*. Abgerufen am

01. August 2023 von Statista:

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/28888/umfrage/hektarertrag-von-getreide-in-deutschland-seit-1960/>

van Loon, K., & Hammink, H. (2013). *Kartoffel Signale : Praxisleitfaden für einen erfolgreichen Kartoffelanbau*. Zutphen: Roodbont Publisher B.V.

Zinke, O. (03. 09 2019). *Humusaufbau: Klima retten und Geld verdienen*. Abgerufen am 01. Juli 2023 von agrarheute:

<https://www.agrarheute.com/management/betriebsfuehrung/humusaufbau-klima-retten-geld-verdienen-557662>

Eidesstattliche Erklärung

Ich, Magnus Natzius, erkläre hiermit eidesstattlich, dass ich die vorliegende Master-Thesis mit dem Thema „Folgen der Fruchtfolgenumstellung auf eine 4-jährige Anbaupause in Pflanzkartoffeln unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Maßgaben im gesamten Anbausystem“ selbständig 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.

Bessin, 28.09.2023

Ort, Datum

Unterschrift: