



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Studiengang Nachhaltiges Agrarmanagement

Prof. Dr. habil Sandra Rose

Gerrit Jan Stegink

Masterarbeit

„Optimierung der Bewässerungsanlage von der Wolkower Milchhof KG“

urn:nbn:de:gbv:519-thesis2023-0299-1

von

David Nitzow

Neubrandenburg

13.11.2023

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	
Abbildungsverzeichnis	
Tabellenverzeichnis	
Formelverzeichnis	
Abkürzungsverzeichnis	
1. Einleitung	1
Betriebsspiegel	1
2. Theoretische Grundlagen	2
2.1. Bewässerungsanlagen	2
2.2 Verdunstung	6
2.3 Bewässerungsrecht	8
2.4 Standortverhältnisse	9
3. Material und Methoden	15
3.1 Leitungsnetz	15
3.2 Einsatzmanagement	17
3.2.1 Beregnungskapazität	17
3.2.2 Bewässerungsmengenberechnung	18
3.3.4 Mehrertrag	22
3.3 Betriebswirtschaftliche Rechnungen	23
3.3.1 Laufende Kosten	25
3.3.2 Zusätzliche Pumpe mit zwei Beregnungstrommel	26
3.3.3 Düsenwagen	26
3.3.4 Sektorsteuerung	28
3.3.5 Beregnungstrommel mit Maschineneinzug	29
3.3.6 Wasseruhr	29
4. Ergebnisse	31
4.1 Leitungsnetz	31
4.2 Einsatzmanagement	38
4.2.1 Beregnungskapazität	38

4.2.2 Bewässerungsmengenberechnung	40
4.2.3 Mehrertrag	41
4.3 Betriebswirtschaftliche Rechnungen	43
4.3.1 Laufende Kosten	43
4.3.2 Zusätzliche Pumpe mit zwei Beregnungstrommel.....	45
4.3.3 Düsenwagen	48
4.3.4 Sektorsteuerung	52
4.3.5 Beregnungstrommel mit Maschineneinzug	53
4.3.6 Wasseruhr	57
5. Diskussion.....	58
5.1 Leitungsnetz	58
5.2 Einsatzmanagement	58
5.3 Rechnungen	60
5.3.1 Laufende Kosten	60
5.3.2 Zusätzliche Pumpe mit zwei Beregnungstrommel.....	60
5.3.3 Düsenwagen	61
5.3.4 Sektorsteuerung	62
5.3.5 Beregnungstrommel mit Maschineneinzug	63
5.3.6 Wasseruhr	63
6. Zusammenfassung.....	64
7. Fazit	65
Literaturverzeichnis.....	66
Anhang	69
Eidesstattliche Erklärung	73

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: ÜBERBLICK ÜBER DIE WICHTIGSTEN BERECHNUNGSVERFAHREN.....	2
ABBILDUNG 2: AUFBAU EINER ROHRTROMMEL- BERECHNUNGSMASCHINE	4
ABBILDUNG 3: KENNDATEN EINER MOBILEN BERECHNUNG MIT DER WASSERVERTEILUNG BEI EINER WINDGESCHWINDIGKEIT VON 2-5 M/S UND EINER WURFWEITE VON 36 M	5
ABBILDUNG 4: DÜSENWAGEN EINER ROHRTROMMEL- BERECHNUNGSMASCHINE MIT ENDREGNERN	6
ABBILDUNG 5: VERDUNSTUNG IM LAUFE EINES TAGES BEI EINER TÄGLICHEN VERDUNSTUNG VON ÜBER 5 L/M ² 7	
ABBILDUNG 6: BODENTYPEN DES BETRIEBES NACH BODENÜBERSICHTSKARTE 200	11
ABBILDUNG 7: NIEDERSCHLAG UND DURCHSCHNITTSTEMPERATUR VOM JAHR 2000 BIS 2022 MIT TRENDLINIE VON DEMMIN.....	12
ABBILDUNG 8: DURCHSCHNITTLICHER MONATSNIEDERSCHLAG AUS DER ZEITREIHE VON 2000 BIS 2022 VON DEMMIN.....	12
ABBILDUNG 9: MONATLICH DURCHSCHNITTLICH NUTZBARE FELDKAPAZITÄT AUS DEMMIN IM ZEITRAUM VON 2000 BIS 2022.....	13
ABBILDUNG 10: DURCHSCHNITTLICHE TÄGLICHE VERDUNSTUNG ÜBER LANDWIRTSCHAFTLICHEN KULTUREN AUF LEHMIGEN SAND UND DIE DURCHSCHNITTLICH TÄGLICHE NUTZBARE FELDKAPAZITÄT AUF SANDIGEM LEHM FÜR DEMMIN IM MITTELWERT VON 2000 BIS 2022	14
ABBILDUNG 11:: TÄGLICHE NIEDERSCHLAGSMENGEN UND DER VERLAUF DER BODENFEUCHTE UNTER WINTERWEIZEN AM STANDORT DEMMIN AUS DEM JAHR 2022 QUELLE: EIGENE DARSTELLUNG NACH DWD,2023	15
ABBILDUNG 13: KLIMATISCHE WASSERBILANZ VON APRIL BIS SEPTEMBER IM ZEITRAUM 1981-2010 FÜR DIE ABLEITUNG DES ZUSATZWASSERBEDARFS	20
ABBILDUNG 14: BEZIEHUNG ZWISCHEN DEN ÖKONOMISCHEN KENNZAHLEN.....	24
ABBILDUNG 15: „BESTANDSZEICHNUNG PLAN 1“ VERLAUF DES LEITUNGSNETZES IM ABSCHNITT HAUPTTEIL AUF GEOREFERENZIERTER BESTANDSKARTE ÜBER ORTHOPHOTOS AUS DEM JAHR 2020 UND 2021 GELBER PUNKT= KREUZUNG MIT GASLEITUNG, GRÜNE LINIEN = EMPFEHLUNG FÜR SCHIEBERPLATZIERUNG	32
ABBILDUNG 16: „BESTANDSZEICHNUNG LAGEPLAN 2“ VERLAUF DES LEITUNGSNETZES IM ABSCHNITT WARRENZIN AUF GEOREFERENZIERTER BESTANDSKARTE ÜBER ORTHOPHOTOS AUS DEM JAHR 2020 UND 2021 GELBER PUNKT= KREUZUNG MIT GASLEITUNG, GELBE ELLIPSEN= LEITUNG NICHT MEHR VORHANDEN (UNTEN)HYDRANTEN NICHT MEHR VORHANDEN(OBEN), GRÜNE LINIEN = EMPFEHLUNG FÜR SCHIEBERPLATZIERUNG, ORANGE LINIEN U. BLAUE= MARKIERUNG DER LEITUNGEN	33
ABBILDUNG 17: „BESTANDSZEICHNUNG LAGEPLAN 3“ VERLAUF DES LEITUNGSNETZES IM ABSCHNITT WOLKOW UND DEVEN AUF GEOREFERENZIERTER BESTANDSKARTE ÜBER ORTHOPHOTOS AUS DEM JAHR 2020 UND 2021, GRÜNE LINIEN = EMPFEHLUNG FÜR SCHIEBERPLATZIERUNG, ORANGE LINIEN = MARKIERUNG DER LEITUNGEN, BLAUE LINIE= LEITUNG DURCH ORTSLAGE	34
ABBILDUNG 18: VERLAUF DER LEITUNG VOM SAMMELBECKEN ZUM PUMPENHAUS, ORANGER PUNKT = KREUZUNG MIT GASLEITUNG	35
ABBILDUNG 19: LEITUNG VON DER MILCHVIEHANLAGE WOLKOW ZUM SAMMELBECKEN	36
ABBILDUNG 20: LEITUNG UPOST BLAUER PUNKT= ENDE DES BEWÄSSERUNGSNETZES	37
ABBILDUNG 21: EINSATZGRENZEN DES DÜSENWAGEN IM GELÄNDE.....	62

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: EINSATZUMFANG DER BEREGNUNG IM JAHR 2023	19
TABELLE 2: NUTZBARE FELDKAPAZITÄT DER EINZELNEN KULTUREN EINER DURCHSCHNITTSFLÄCHE DES BETRIEBES	22
TABELLE 3: BEREGNUNGSKAPAZITÄT DER BEWÄSSERUNGSANLAGE	38
TABELLE 4: ERMITTLUNG DES MEHRERLÖSES DER EINZELNEN KULTUREN DURCH DIE BEWÄSSERUNG	42
TABELLE 5: ERMITTLUNG DER BEREGNUNGSKOSTENFREIEN LEISTUNG JE HA	43
TABELLE 6: JÄHRLICHE FIXKOSTEN	44
TABELLE 7 ZUSAMMENSETZUNG DER VARIABLEN KOSTEN NACH ZEIT UND NUTZUNGSEINHEIT	44
TABELLE 8: LAUFENDE KOSTEN NACH ZEIT UND NUTZUNGSEINHEIT	45
TABELLE 9: ERMITTLUNG JÄHRLICHER FIXKOSTEN FÜR EINE BEREGNUNGSTROMMELN UND PUMPE.....	46
TABELLE 10: ERMITTLUNG DER VARIABLEN KOSTEN DER PUMPE UND JE TROMMEL	46
TABELLE 11: ERMITTLUNG DER GESAMTKOSTEN FÜR TROMMELN UND PUMPE	47
TABELLE 12: ERMITTLUNG WIRTSCHAFTLICHKEIT DER ZUSÄTZLICHEN PUMPE MIT ZWEI BEREGNUNGSTROMMELN	47
TABELLE 13: ERMITTLUNG DER FIXKOSTEN DES DÜSENWAGENS	48
TABELLE 14: ERMITTLUNG VARIABLER KOSTEN FÜR DÜSENWAGEN	48
TABELLE 15: ERMITTLUNG GESAMTKOSTEN DÜSENWAGEN JE EINHEIT UND JAHR	49
TABELLE 16: KOSTENVERGLEICH DÜSENWAGEN UND STARKREGNE	50
TABELLE 17: ERMITTLUNG WIRTSCHAFTLICHKEIT EINES DÜSENWAGENS	51
TABELLE 18: ERMITTLUNG DER FIXKOSTEN DER SEKTORSTEUERUNG	52
TABELLE 19: ERMITTLUNG VARIABLE KOSTEN SEKTORSTEUERUNG	52
TABELLE 20: ERMITTLUNG DER FIXKOSTEN EINER BEREGNUNGSTROMMEL MIT MASCHINENEINZUG.....	53
TABELLE 21: ERMITTLUNG DER VARIABLEN KOSTEN EINER BEREGNUNGSTROMMEL MIT MASCHINENEINZUG .	54
TABELLE 22: ERMITTLUNG DER GESAMTKOSTEN BEREGNUNGSMASCHINE JE JAHR UND JE EINHEIT	54
TABELLE 23: ERMITTLUNG WIRTSCHAFTLICHKEIT DER BEREGNUNGSMASCHINE	55
TABELLE 24: ERMITTLUNG WIRTSCHAFTLICHKEIT EINER BEREGNUNGSTROMMEL MIT MASCHINENEINZUG UND VERGLEICH ZUM REGNEREINZUG EINE 400 M TROMMEL.....	56
TABELLE 25 ERMITTLUNG DER FIXKOSTEN EINER WASSERUHR FÜR DAS PUMPENHAUS	57

Formelverzeichnis

FORMEL 1: ZINSKOSTEN	24
FORMEL 2: ABSCHREIBUNG NACH ZEIT	24
FORMEL 3: ABSCHREIBUNG NACH LEISTUNG	24
FORMEL 4: AUSLASTUNGSSCHWELLE	25

Abkürzungsverzeichnis

Akh	Arbeitskraftstunde
AMBAV	Agrarmeteorologisches Modell zur Berechnung der aktuellen Verdunstung
BÜK200	Bodenübersichtskarte im Maßstab 1 zu 200.000
DWD	Deutscher Wetterdienst
DPI	Dots Per Inch (Punkte pro Zoll)
kc	kulturspezifischer Crop- Koeffizient
MESZ	Mitteleuropäische Sommerzeit
nFK	nutzbare Feldkapazität
PE	Polyethylen
SI	lehmiger Sand
Tiff	Tagged Image File Format (Bildformat)
UTC	koordinierte Weltzeit

1. Einleitung

Bisher hat die Bewässerung flächendeckend in Mecklenburg-Vorpommern keine große Bedeutung, da das Bundesland zum Großteil von lehmigen und an lehmigen Böden geprägt ist und durch die Lage an der Küste weniger vom kontinentalen Klima und dessen ausgeprägten Vorsommertrockenheiten betroffen ist. Zusätzlich wird auch die Kartoffel als berechnungswürdigste Kultur nur in geringem Umfang in dem Land angebaut. Dadurch werden in dem Bundesland lediglich 1,5 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche bewässert (Michel & Fricke, 2014). Örtlich gesehen kann dies jedoch auch wesentlich abweichen. So ist der Süden des Landes ebenfalls von leichteren Standorten geprägt. Auch die Klimaveränderungen mit zunehmend heißeren Sommern und der Änderung der Niederschlagsverteilung hin zum Winter machen die Thematik Bewässerung zunehmend attraktiv für Betriebe. So wirtschaftet auch der in dieser Arbeit beschriebene Betrieb im nördlichen Teil des Landes in einer Region mit eher sandigen Böden. Dabei wird ein Großteil der insgesamt 1400 ha landwirtschaftlichen Nutzfläche beregnet. Dies ist notwendig, um die 1000 Milchkühe des Betriebes mit ausreichend und qualitativ hochwertigem Futter versorgen zu können. Dabei wurden die Bewässerungsleitungen der mobilen Beregnungsanlage in den siebziger Jahren errichtet.

Ziel dieser Arbeit ist es, das Leitungsnetz der Bewässerungsanlage ausfindig zu machen und zu kartografieren, da dessen Verlauf dem Betrieb nicht in Gänze bekannt ist. Außerdem sollen betriebswirtschaftliche Rechnungen zur Bewässerungsanlage durchgeführt werden, um Optimierungspotenziale aufzuzeigen.

Betriebsspiegel

Der Betrieb „Wolkower Milchhof KG“ liegt in der Ortschaft Wolkow ca. 3 km westlich der Stadt Demmin in der Mecklenburgischen Seenplatte. Dieser ist wiederum Bestandteil der „Demminer Landbau AG“, zu der insgesamt 6 Betriebe gehören, aber nur dieser Betrieb über eine Beregnung verfügt. Der Betrieb wurde vor ca. 3 Jahren vom jetzigen Eigentümer übernommen. Er bewirtschaftet 1400 ha auf sandigen und anlehmigen Böden mit durchschnittlich 35 Bodenpunkten. Von der Fläche sind 1000 ha beregnungsfähig. Der Betrieb beschäftigt ca. 40 Mitarbeiter und hält in der Milchviehanlage in Wolkow 1400 Milchkühe. Zum Betrieb gehört außerdem ein Werkstatthof, welcher im benachbarten Ort Warrenzin liegt. Angebaut wird auf der Betriebsfläche Winterweizen, Wintergerste, Winterroggen, Winterraps, Ackergras, Luzerne, Silomais, und Erbsen. Die Flächen liegen überwiegend arrondiert und die durchschnittliche Hof- Feld-Entfernung liegt bei 2 km. Bei der Maschinenausstattung ist der Betrieb eigenmechanisiert.

2. Theoretische Grundlagen

2.1. Bewässerungsanlagen

In der Landwirtschaft gibt es eine Vielzahl an Bewässerungsverfahren. Die Verwendung der jeweiligen Art hängt stark mit den örtlichen Gegebenheiten und den angebauten Kulturen zusammen.

Die Abbildung 1 stellt eine Übersicht der bedeutendsten Bewässerungsverfahren dar. Die Oberflächenbewässerung teilt sich in die Beckenbewässerung und in die Furchenbewässerung. Die Beckenbewässerung zeichnet sich dadurch aus, dass die gesamte Fläche unter Wasser steht, wie es beispielweise beim Reisanbau der Fall ist. Bei der Furchenbewässerung werden kleine Gräben zwischen den Kulturreihen geflutet. In Deutschland spielt die Oberflächenbewässerung keine Rolle, weltweit macht sie jedoch einen Anteil von 80% aus (Köller & Hensel, 2019). Die Rohrberegnung ist ein stationäres Beregnungsverfahren bei dem meist 6 m lange Rohre mit einer Schnellkupplung an eine Hauptleitung angeschlossen werden. An diesen Rohren sind Regner verbaut. Diese haben meist einen Abstand von 10 bis 30 m und beregnen in einem Bereich von 360° (Köller & Hensel, 2019). Der Vorteil dieses Systems ist, dass mit mittlerem Druck von 2 bis 4 bar gearbeitet werden kann, was wiederum geringere Energiekosten verursacht und die Bewässerung nach Aufstellung bis zur Ernte dauerhaft ohne weiteren Arbeitsaufwand genutzt werden kann. Ein Nachteil ist der hohe Aufwand beim Umsetzen dieser Beregnung.

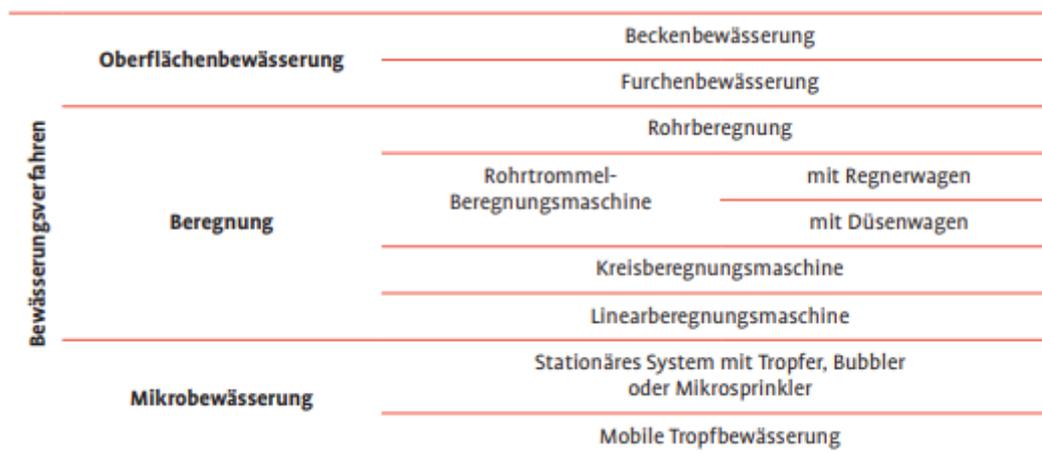


Abbildung 1: Überblick über die wichtigsten Beregnungsverfahren
Quelle: Köller & Hensel, 2019

Die Bauart der Kreisberegnungsmaschine ist eine stationäre Beregnung, bei der die Beregnungsanlage kreisförmig um einen Punkt stattfindet. Dieser Punkt ist der Zentralturm, von welchem auch die Wasser und Stromversorgung ablaufen. Die Länge dieser Bewässerung liegt bei bis zu 1000 m und kann bis zu 300 ha bewässern. Verbreitet sind jedoch hauptsächlich Längen von 300 bis 500 m (Köller & Hensel, 2019). Die Bewässerungsdüsen

hängen einen Meter, in sogenannten Spans, über dem Boden. Diese Spans werden von Fahrtürmen getragen, welche über ein Fahrwerk und Elektromotoren verfügen. Für die Bewässerung hängen an den Spans, in Abständen von wenigen Metern, Düsen. Dadurch kann mit geringem Druck bewässert werden. Der Vorteil dieses Systems ist der hohe Automatisierungsgrad. Die Steuerung ist häufig per App möglich. Auch die Düngung kann über dieses System durchgeführt werden. Der Nachteil liegt im Beregnen der Ecken einer Fläche und in den hohen Investitionskosten (Köller & Hensel, 2019).

Die Linearberegnung ist ähnlich wie die Kreisberegnung aufgebaut. Bei dieser Bauart bewegt sich die Beregnung gradlinig von einem Feldende zu einem anderen. Die Wasserversorgung findet dabei über einen Schleppschlauch statt oder über Kanäle, welche parallel neben dem Feld verlaufen. Da es sich bei dieser Bauart um eine teilmobile Anlage handelt, ist sie mit einem Motor für die Stromversorgung ausgestattet.

Der Bereich der Mikrobewässerungen umfasst die stationäre und mobile Tropfbewässerung. Diese Bewässerungstechnik zeichnet sich durch ihre Wasserversorgung über kleine Schläuche aus, die das Wasser mit geringem Druck und geringen Mengen in unmittelbarer Nähe der Pflanzen applizieren. Diese Bewässerungsart wird durch seine hohen Kosten nur in geringem Maße eingesetzt. Vor allem sind diese Bewässerungssysteme in Gemüseanbau verbreitet, da dort mit höheren Deckungsbeiträgen zu rechnen ist. Der große Vorteil dieser Bewässerung liegt vor allem in der geringen Wasserverdunstung von unter 10 % , wohingegen die anderen Beregnungsverfahren Werte von bis zu 25 % aufweisen (Köller & Hensel, 2019).

Auf landwirtschaftlichen Nutzflächen sind Rohrtrommel- Beregnungsmaschinen stark verbreitet. Sie zählen zu den mobilen Beregnungsanlagen.

Wie in Abbildung 2 dargestellt wird bei dieser Bauart die Rohrtrommel am Feldrand platziert und mit einem Stützfuß gesichert. Anschließend wird das auf der Rohrhaspel aufgerollte PE-Rohr mithilfe eines Schleppers ausgezogen und der Regner wird anschließend über eine längere Zeit durch das sich aufrollende PE-Rohr wieder zur Rohrhaspel gezogen. Die Rohrhaspel wird dabei von einer Turbine angetrieben. Über diese kann auch die Einzugsgeschwindigkeit und damit die Ausbringmenge variiert werden. Der Wasseranschluss erfolgt dabei über einen angeschlossenen Hydranten. Die meisten Rohrtrommelmaschinen werden mit dem Einzug eines Starkregners betrieben, es gibt jedoch auch die Möglichkeit des Anschlusses mit einem Düsenwagen (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft & Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, 2012). Am Ende des mitgeführten PE- Rohres wird der Regner oder Düsenwagen montiert.

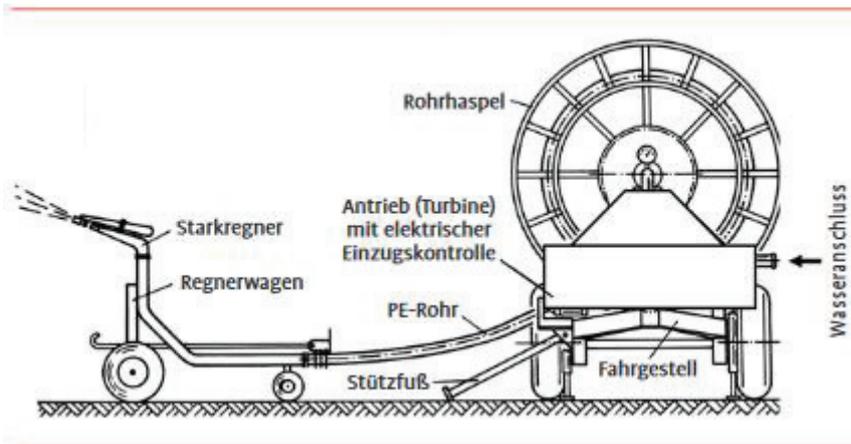


Abbildung 2: Aufbau einer Rohrtrommel- Beregnungsmaschine
 Quelle: Köller & Hensel, 2019

Dieses Verfahren gibt es außerdem noch mit dem Maschinenvorschub. Dabei wird nicht der Regner ausgezogen, sondern die Trommel und diese fährt durch einen eigenen Antrieb zurück. Dieses System bietet den Vorteil der Kurventauglichkeit. Denn die Trommel folgt durch die aktive Lenkung beim Aufrollen auch Rohren, die in Kurven verlegt sind. Dadurch können unformige Flächen besser ausgerechnet, Hindernisse umfahren und mehrere Bahnen mit einer Aufstellung beregnet werden.

Die üblichen Einzugsgeschwindigkeiten liegen zwischen 5 und 200 m/h und die Höhe der Bewässerungsgaben bei 15- 35 l/ha. Üblich sind Einzugsgeschwindigkeiten von 20 bis 27 m/h. Die PE-Rohre haben einen Durchmesser von ca. 50–150 mm (Köller & Hensel, 2019). Die ausgebrachte Wassermenge je Stunde hängt wesentlich vom verbauten Regner, der Düsenweite und dem Druck ab und reicht bis zu 90 m³/h. Die effektive Arbeitsbreite reicht dabei bis ca. 80 m (Kreß et al., 2014). Die effektive Arbeitsbreite der Regner beträgt dabei maximal 85 % der doppelten Wurfweite des Regners (Kreß et al., 2014). So kann ein Regner mit 49 m Wurfweite 83 m beregnet werden. In den letzten Jahrzehnten haben sich die Rohrlängen und Rohrdurchmesser verändert, sodass heute mobile Beregnungsmaschinen mit bis zu 1.000 m Rohrlänge bei 125 mm Rohrdurchmesser verfügbar sind, die je Aufstellung nicht mehr 2 ha, sondern bis zu 8 ha Fläche in einem Arbeitsgang bewässern können (Schimmelpfennig et al., 2017).

Bei den Regnern gibt es verschiedene Größenordnungen mit unterschiedlichen Arbeitsbreiten. Die am meisten verbreitete Art ist der Großflächen- bzw. Starkregner. Dabei liegt ein Betriebsdruck bei bis zu 7- 8 bar am Hydranten an und am Regner sind 4 bis 5 bar erforderlich. Bei dieser Bewässerungsart ist jedoch zu empfehlen nicht zu große Rohrlängen zu wählen, da die Zugkräfte sonst so groß werden, sodass es zu Schäden an der Maschine kommen kann (Michel & Fricke, 2014). In der großen Arbeitsbreite liegen zugleich die Schwächen des

Großregners. Denn für diese Arbeitsbreite wird ein hoher Energieaufwand von 0,6 bis 0,7 kWh/m³ benötigt.

In der nachfolgenden Abbildung 3 ist die Wasserverteilung eines Starkregners mit 36 m Wurfweite, bei 2 bis 5 m/s Seitenwind, aufgezeigt. Daraus ersichtlich ist, dass selbst ein geringer Seitenwind, bei einer beabsichtigten Beregnung mit 25 l/m², zu einer massiven Ungenauigkeit in der Wasserverteilung führt. So kommt in den äußersten Metern gegen die Windrichtung kein Wasser an und einige Meter neben dem Starkregner werden bis zu 40 l/m² beregnet. Außerdem sinkt die Beregnungsmenge in den äußersten Metern in Windrichtung auf 15 l/m². Diese ungenaue Wasserverteilung bei Starkregnern führt bei gleicher Wassermenge zu etwa 5 % geringeren Ertragszuwächsen, als bei Kreisberegnungsmaschinen oder der Tröpfchenbewässerung (Schimmelpfennig et al., 2017). Der benötigte Zeitaufwand dabei liegt bei 1 h je ha und Jahr.

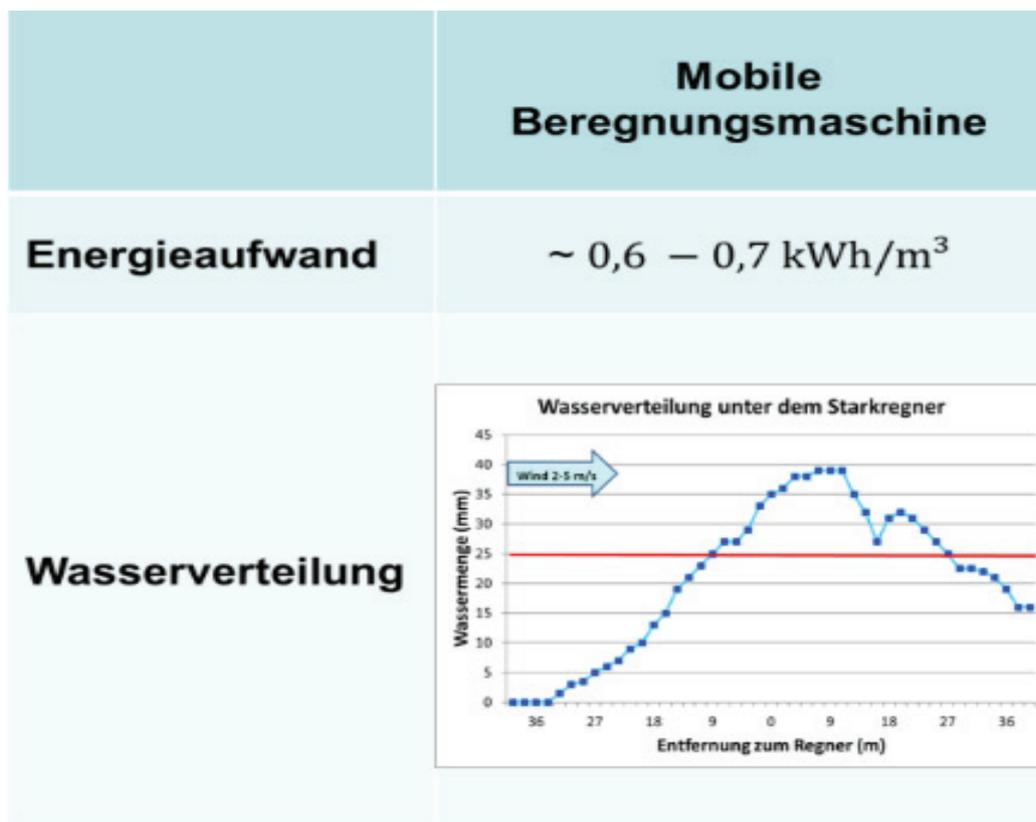


Abbildung 3: Kenndaten einer mobilen Beregnung mit der Wasserverteilung bei einer Windgeschwindigkeit von 2-5 m/s und einer Wurfweite von 36 m
Quelle: Schimmelpfennig et al., 2017

Die Rohrtrommel- Beregnungsmaschine kann auch mit einem Düsenwagen ausgestattet werden. Diese haben eine Arbeitsbreite von bis zu ca. 100 m. Diese Arbeitsbreiten setzen sich aus dem bis zu 80 m Gestänge und der zusätzlichen Reichweite, der an den

Außenpunkten montierten Endregner, zusammen. Durch ihre baulich gegebene regelmäßige Düsenverteilung sorgt diese Technik für eine geringere Windanfälligkeit und eine dadurch verbesserte Wasserverteilung. In Abbildung 4 wurde ein Düsenwagen abgebildet, bei dem an den Enden der Ausleger Randdüsen zu sehen sind. Diese können auch mit Schwachregnern ausgestattet werden, um die Arbeitsbreite bis zu 15 m Seite über die Konstruktionsbreite zu erhöhen.



*Abbildung 4: Düsenwagen einer Rohrtrommel- Beregnungsmaschine mit Endregnern
Quelle: Düsenwagen – Beinlich Beregnung, 2023*

Außerdem kann durch den geringen Düsenabstand die Anlage mit einem niedrigeren Betriebsdruck arbeiten. Die Betriebsdrücke an der Düse liegen hier zwischen 1,5 und 4,5 bar. Meist bewegen sich diese bei ca. 3 bis 3,5 bar. Diese Druckunterschiede liegen maßgeblich daran, ob und in welcher Größenordnung Endregner verbaut werden. Gegenüber dem Großflächenregner braucht der Düsenwagen ca. 2 bar geringeren Druck an den Düsen, was einer Energieeinsparung von etwa 20 % entspricht (Schimmelpfennig et al., 2017).

2.2 Verdunstung

Die Beregnungsverluste im Tagesverlauf sind nicht konstant, sondern in der Nacht sehr viel geringer als am Tag. Daher ist es wichtig zu wissen, wie sich die Verluste im Mittel über den Tag verteilen. Hierzu wurden in Abbildung 5 von allen Wetterstationen in Deutschland an allen

Tagen mit Tagesverdunstungen von über 5 mm in den Jahren 2018 bis 2022 analysiert, wie sich die Tagesverdunstung über die Stunden verteilt. Das Ergebnis ist in Abbildung 5 dargestellt und zeigt, dass die höchsten Werte um 12 Uhr nach dem Zeitformat UTC auftreten. Das Zeitformat 12 Uhr nach UTC entspricht 14 Uhr nach der in Deutschland verwendeten Zeitzone Mitteleuropäische Sommerzeit (MESZ). Dabei entstehen in der Zeit von 13 bis 15 Uhr nach MESZ knapp 20 % der gesamten Tagesverdunstung. Der Wert bei UTC 12 bezieht sich auf die Zeitspanne von 11 – 12 UTC. In den umliegenden Stunden sind die Anteile ebenfalls noch entsprechend hoch. Das Maximum tritt bevorzugt kurz nach dem Sonnenhöchststand auf, da hier die Strahlung am höchsten ist. Das Temperaturmaximum und die größte Trockenheit wird hingegen in der Regel noch etwas später am Tag beobachtet, doch durch das Zusammenspiel der verschiedenen Einflussfaktoren ergibt sich die dargestellte Verteilung. 50 % der Tagesverdunstung fällt, in das Zeitfenster 9 – 15 UTC (11 – 17 MESZ).

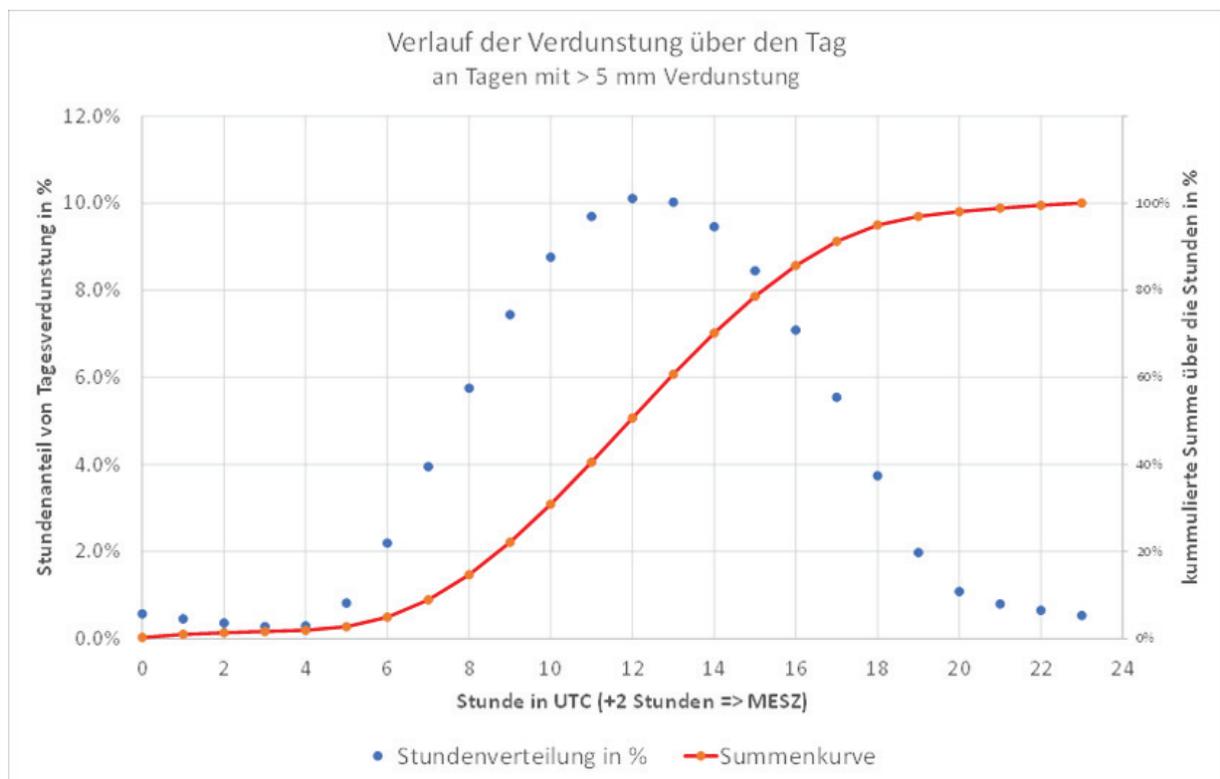


Abbildung 5: Verdunstung im Laufe eines Tages bei einer täglichen Verdunstung von über 5 l/m²
 Quelle: DWD Wetter und Klima - Deutscher Wetterdienst - Übersicht - Erläuterungen zu Verdunstungsverlusten bei Beregnung, 2022

Aus diesem Grund ist nach Möglichkeit die Beregnung bei Nacht vorzuziehen.

2.3 Bewässerungsrecht

In Deutschland muss für eine Verwendung von Grund- und Oberflächenwasser ein Zulassungsverfahren für die Nutzung durchlaufen werden. In den Bundesländern übernehmen die unteren Wasserbehörden auf Landkreisebene die Durchführung. Seit Ende 2000 gilt die europäische Wasserrahmenrichtlinie als rechtliche Grundlage. Mit der Einführung der Wasserentnahmerichtlinie wird angestrebt, alle Gewässer und die Grundwasserreservoirs bis 2027 in einen guten oder sehr guten ökologischen Zustand zu überführen. Umgesetzt wird diese EU- Richtlinie über das Wasserhaushaltsgesetz vom Bund und verschiedene Landesgesetze. Aus Sicht der landwirtschaftlichen Beregnung kann dies, zum Beispiel bei einer Grabenanstauung, zu Problemen führen. Gegenwärtig erreichen 9 % aller Oberflächengewässer einen sehr guten oder guten ökologischen Zustand. Das ist etwa ein Prozent mehr als 2015. Mit den geplanten Maßnahmen bis 2027, könnten 18 % der Gewässer die Ziele der Wasserrahmenrichtlinie erreichen (Umweltbundesamt, 2022). Der Großteil dieser schlechten Bewertung stammt dabei aus der chemischen Belastung. Dazu zählen sowohl Nährstoffauswaschung als auch Chemikalien aus der Industrie und Abwasserwirtschaft. Außerdem kann dies bei niedrigen Pegelständen zu Einschränkung der Bewässerung kommen. Im Bereich der Flussgebietslandschaft Warnow/Peene ist jedoch für keinen Oberflächenwasserkörper eine signifikante Belastung durch Wasserentnahmen dokumentiert (Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, 2021). Aus diesem Grund ist dies kein Problem des Betriebs für die Wasserentnahme aus der Trebel, welche aus der Peene hervorgeht. Meist wird über das Wasserhaushaltsgesetz eine Erlaubnis erteilt. Es gibt rechtlich einen Unterschied zwischen der Erlaubnis und der Bewilligung. Die Erlaubnis hat eine weniger starke Rechtsprechung und gewährt Dritten kein effektives Recht zur Nutzung von Gewässern. Zusätzlich kann die Erlaubnis von der zuständigen Wasserbehörde jederzeit widerrufen werden (Belau et al., 2013).

Im Wassergesetz des Landes Mecklenburg- Vorpommern werden die Regelungen des Wasserhaushaltsgesetzes auf Landesebene umgesetzt. Darin ist auch die Höhe des Entgelts für die Entnahme von Wasser festgelegt. Für das Entnehmen, Zutage fördern, Zutage leiten und Ableiten von Grundwasser, beträgt der Abgabesatz 0,10 Euro je Kubikmeter und für das Entnehmen und Ableiten von Wasser aus oberirdischen Gewässern 0,02 Euro je Kubikmeter (Landeshauptstadt Schwerin - Fachgruppe Wasser- und Bodenschutz, 2023). Für die Entnahme von landwirtschaftlichen Beregnungswasser gibt es jedoch eine Ausnahme. Damit bleibt die Nutzung von Beregnungswasser in Mecklenburg- Vorpommern bislang gebührenfrei. Jedoch gibt es politische Diskussionen, ob dies geändert werden soll.

2.4 Standortverhältnisse

Bei den Standortverhältnissen wurde auf Bodeneigenschaften und die vorherrschenden klimatischen Bedingungen eingegangen. Auf die Bodenverhältnisse wurde über die Bodenübersichtskarte 200 (BÜK 200) eingegangen (siehe Abbildung 6). Dabei gab diese eine Übersicht der Bodentypen, deren typischen Bodenarten und den durchschnittlichen Bodenpunktzahlen. Dabei stammte die BÜK 200 vom Geoportal der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (*BGR Geoportal - Geoviewer*, 2023).

Für die Berechnung der nutzbaren Feldkapazität (nFK), welche die pflanzenverfügbare Wassermenge angibt, wurde sich auf Daten des geologischen Dienstes NRW bezogen (siehe Anlage 1). Diese Werte geben die Wasserspeicherfähigkeit der verschiedenen Bodenarten mit der jeweiligen Zustandsstufe an. Die Werte der nFK beziehen sich dabei auf jeweils ein Quadratmeter und einer Tiefe von einem Meter.

Für das Standortklima wurde auf Daten des Deutschen Wetterdienstes zugegriffen (*Deutscher Wetterdienst-Climate Data Center*, 2023). Dies waren vor allem der Niederschlag, die Temperatur, die Bodenfeuchte und die Verdunstung.

Mit Daten ab dem Jahr 2000 wurde der jährliche Niederschlag und die Jahresmitteltemperaturen von der Wetterstation in Demmin abgebildet und daraus der durchschnittliche jährliche Niederschlag und die durchschnittliche Jahresmittelwerttemperatur berechnet (siehe Abbildung 7).

Auch wurde mithilfe dieser Daten der durchschnittliche monatliche Niederschlag aus den betrachteten 22 Jahren berechnet und dargestellt (siehe Abbildung 8).

Außerdem wurde der Verlauf der durchschnittlich monatlich nutzbaren Feldkapazität über den Verlauf dieser 22 Jahre wiedergegeben (siehe Abbildung 9).

Es wurde ebenfalls eine Abbildung angefertigt, welche die durchschnittliche tägliche Verdunstung über den bewässerten Kulturen von diesem Zeitraum widerspiegelt und dazu den Verlauf der Bodenrechte unter Gras und Weizen auf lehmigen Sand (siehe Tabelle 10). Die Verdunstungswerte wurden hierbei mit einem Agrarmeteorologisches Modell zur Berechnung der aktuellen Verdunstung (AMBAV) berechnet. Für das Jahr 2022 wurde eine Auswertung über den Verlauf der nFK unter lehmigen Sand erstellt.

Der Betrieb liegt in Wolkow im Landkreis Demmin. Die Betriebsflächen befinden sich hauptsächlich um die Ortschaften Warrenzin, Deven und Drönnewitz. Die Stadt Demmin liegt 3 km vom Betriebshof entfernt. Der Standort liegt 9 m über NN. Der durchschnittliche

Jahresniederschlag lag im Zeitraum von 1981-2010 bei 586 l/m² und die Durchschnittstemperatur bei 8,7 °C. Von 2000 bis 2022 lag der jährliche Niederschlag bei 629 l/m² und die durchschnittliche Jahrestemperatur im gleichen Zeitraum bei 9,2 °C.

Die vorherrschenden Bodentypen auf den Betriebsflächen wurden in der Abbildung 6 dargestellt. Auf dem Auszug aus der BÜK 200 ist zu erkennen, dass die Umgebung des Verlaufs der Trebel und Peene mit der Nummer 47 bezeichnet ist und für ein Niedermoorgebiet steht (siehe Abbildung 6). Dabei geht die Trebel aus der Peene hervor und fließt an Drönnewitz vorbei, wo auch die Pumpstation des Betriebs steht. Die Peene fließt südlich von Deven weiter. Das Gebiet 50 zeigt überwiegend Braunerden und gering verbreitet Acker-Braunerde-Podsol. Dieser Bereich ist Großteil bewaldet. Die Bodenart ist hierbei schwach sandiger Lehm. Der Bereich, mit der Nummer 19, ist geprägt durch Braunerden und gering verbreitet Bänderparabraunerden. Als Bodenart herrscht hier stark lehmiger Sand vor. In den Bereichen 55 sind Braunerden, Bänderparabraunerden und selten Regosol vertreten. Die Bodenart ist hier schwach sandiger Lehm. Im letzten für den Betrieb relevanten Bodengebiet, der Nummer 58, herrschen verbreitet Braunerde-Fahlerden und Braunerde-Parabraunerden vor. Auch hier ist die Bodenart schwach sandiger Lehm. Die Flächen des Betriebs befinden sich in den soeben beschriebenen Bereichen.

Die Bodenwertzahlen auf dem Betrieb liegen im Schnitt bei 35 Bodenpunkten. Dabei liegen sie im Bereich 58 der Abbildung 6 mit bis zu 45 Bodenpunkten am höchsten. Im Bereich 55 ist dies geteilt. Der obere Bereich hat ca. 25- 30 Bodenpunkte und im unteren liegen sie bei ca. 35. Auch Im Bereich 19 liegen diese bei ca. 35. Am niedrigsten liegen sie im Bereich 50 mit ca. 20.

Für die Bereiche der unteren 55 und 58 konnte eine nFK von 170 l/m² angesetzt werden, da dort überwiegend lehmiger Sand der Zustandsstufe 3 (SI3) vertreten war. Im oberen Bereich der 55 sind die vorherrschenden Bodenarten Sand der Zustandsstufe 4 (S4) und lehmiger Sand der Zustandsstufe 4 (SI4) und damit die nFK zwischen 40 und 70 l/m². Im Bereich 19 sind die vorherrschenden Bodenarten SI3. Damit liegt dort die nFK hauptsächlich bei 133 l/m³. Im Bereich 50 konnte mit der Bodenart S4 eine nFK von 57 l/m² angenommen werden. Auch im Bereich 47, welcher an der Peene liegt und von Grünland geprägt ist, konnte von einer nFK von 133 l/m² ausgegangen werden, da die Bodenart dort lehmiger Sand der Zustandsstufe 2 (SI II) ist. Es besteht jedoch der Unterschied, dass dieser Bereich, durch die Peene, grundwassergeprägt ist und die anderen Bereiche nicht.

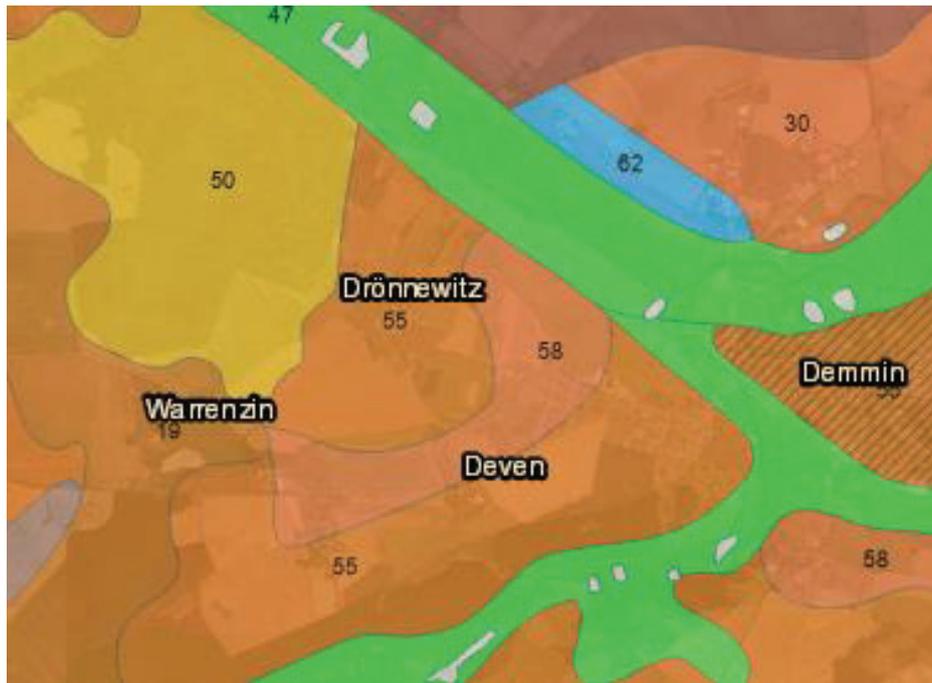


Abbildung 6: Bodentypen des Betriebes nach Bodenübersichtskarte 200
 Quelle: Geoportal der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Zum Standortklima wurden die Jahre von 2000 bis 2022 betrachtet, um eine aktuelle und repräsentative Datengrundlage auszuwerten.

In der Abbildung 7 wurden die Jahresniederschläge und Jahresmitteltemperaturen abgebildet. In dem betrachteten Zeitraum waren die Jahre 2002, 2016 und 2018 die Trockensten, wobei die jährlichen Niederschläge zwischen 450 und 490 l/m² lagen. Die Jahre mit dem meisten Regen waren hingegen 2007 und 2017 mit Regenmengen von 750 bzw. 800 l/m². Der Niederschlagstrend bleibt über die Jahre hinweg jedoch unverändert. Der durchschnittliche Trend der Jahresdurchschnittstemperatur nimmt dagegen im gleichen Zeitraum 0,6 °C zu.

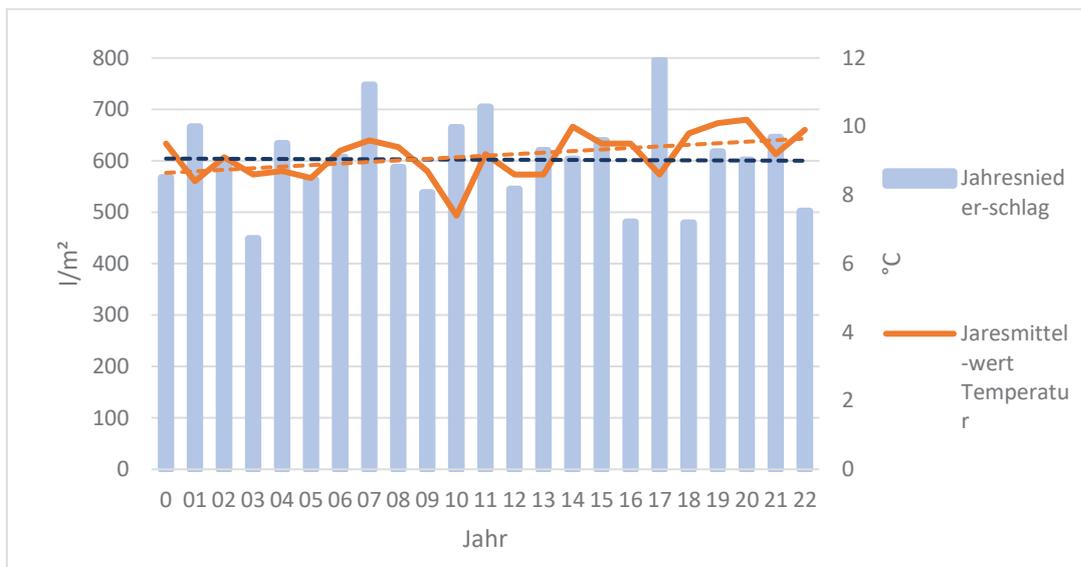


Abbildung 7: Niederschlag und Durchschnittstemperatur vom Jahr 2000 bis 2022 mit Trendlinie von Demmin
 Quelle: eigene Darstellung nach DWD 2023

Wie in Abbildung 8 zu sehen ist, sind im Mittel der letzten 23 Jahre die Sommermonate Juni, Juli und August die niederschlagsreichsten im Jahresverlauf. Dabei fällt vor allem der Juli mit durchschnittlich 71 l/m² auf. Der niederschlagsärmste Monat ist mit 28 l/m² im Mittel der April.

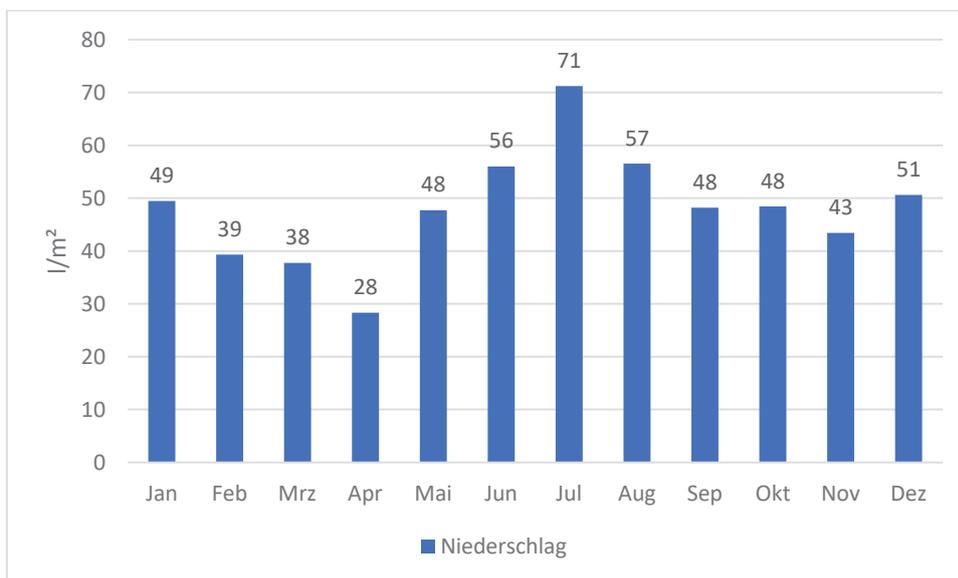


Abbildung 8: Durchschnittlicher Monatsniederschlag aus der Zeitreihe von 2000 bis 2022 von Demmin
 Quelle: eigene Darstellung nach DWD,2023

In der Abbildung 9 ist zu sehen, dass die monatlich durchschnittlich nutzbare Feldkapazität für diesen Standort meist zwischen 100 und 40 % schwankte. Dabei war zu sehen, dass die geringste nFK immer im August auftrat. Meist lag diese Werte zwischen 40 und 50%. Die geringste monatlich durchschnittliche nFK lag dabei im Jahr 2016 mit 37%. Damit herrschte

im Monatsdurchschnitt Trockenstress auf die Pflanze. Dieser kann schon bei unter 50% nFK auftreten (Fricke, 2013). In den Wintermonaten stieg dieser Wert auch über 100% hinaus, was für eine Übersättigung des Bodens steht.

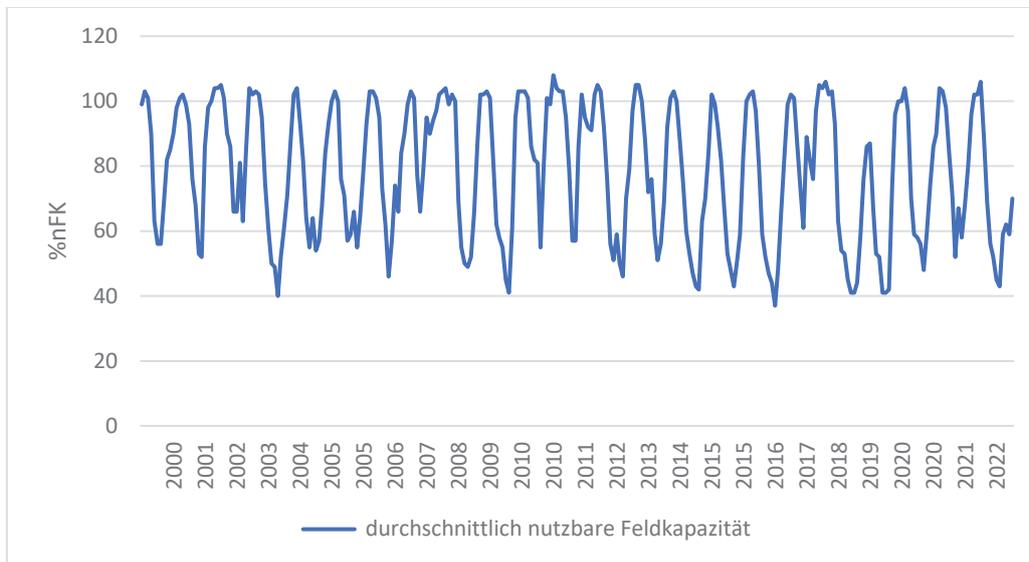


Abbildung 9: Monatlich durchschnittlich nutzbare Feldkapazität aus Demmin im Zeitraum von 2000 bis 2022
Quelle: eigene Darstellung nach DWD, 2023

Entscheidend für die Veränderung der nFK auf landwirtschaftlichen Nutzflächen im Jahresverlauf sind die Bodenart, die Witterung und die angebaute Kultur. In der folgenden Abbildung wurde sowohl der Verlauf der Bodenfeuchte unter Weizen und Gras als auch die täglichen Verdunstungsmengen über Weizen, Gras und Mais wiedergegeben. Die Verdunstungswerte wurden hierbei mit der Methode nach einem Agrarmeteorologischen Modell zur Berechnung der aktuellen Verdunstung (AMBAV) berechnet. Dabei war auffällig, dass die tägliche Verdunstung bei Weizen und Gras zur Hochzeit im Juli bei knapp 2 l/m² lag. Fast zur selben Zeit verdunsteten bei Mais bis zu 4,5 l/m². Bei der Bodenfeuchte zeigte sich, dass die nFK unter Gras in den Sommermonaten von Anfang Juni bis Ende August zwischen 50 und 60 % pendelte. Unter Weizen wies die nFK in den Sommermonaten ein wesentlich niedrigeres Niveau auf. Von Mitte Juni bis Anfang August lag die nFK hier fast durchgängig unter 40%. Der tiefste Wert lag am 29. Juni mit 34% nFK. Damit war im Schnitt der Jahre in dieser Zeit ein starker Trockenstress für die Bestände zu beobachten. Ab einer nFK von unter 50 % beginnen die Pflanzen mit Ertragsreduktion.

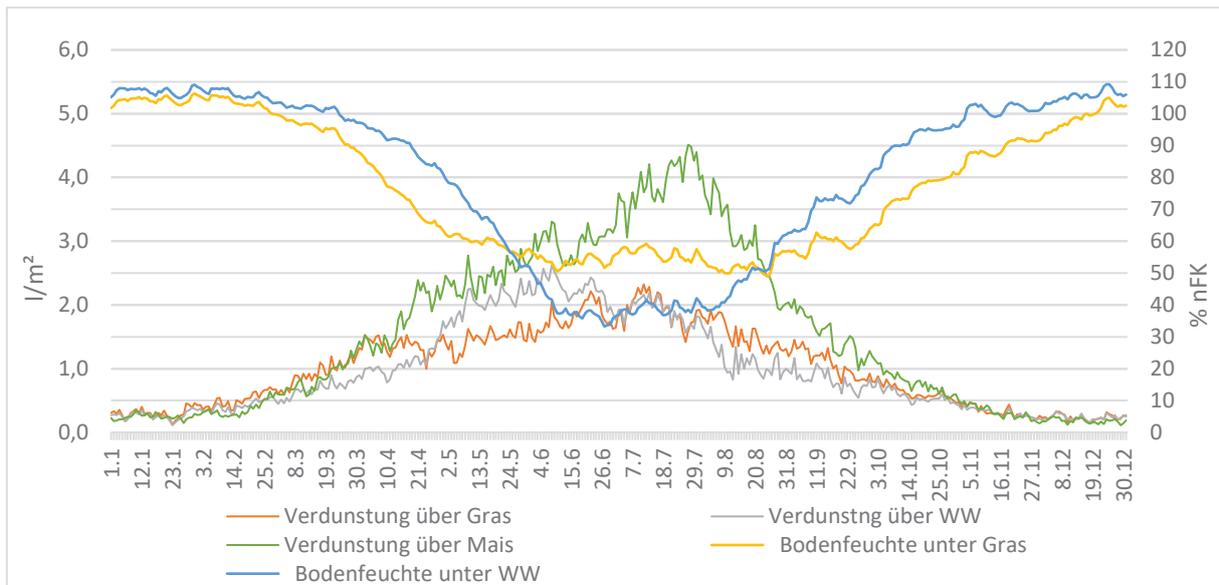


Abbildung 10: Durchschnittliche tägliche Verdunstung über landwirtschaftlichen Kulturen auf lehmigen Sand und die durchschnittlich tägliche nutzbare Feldkapazität auf sandigem Lehm für Demmin im Mittelwert von 2000 bis 2022

Quelle: eigene Darstellung: geändert nach Deutscher Wetterdienst-Climate Data Center, 2023

Das Jahr 2022 wurde in Abbildung 11 detailliert dargestellt. Sie zeigt die Höhe der Bodenfeuchte im Jahresverlauf unter Weizen auf lehmigen Sand. Dabei war zu sehen, dass die nFK schon am 12. Mai unter 50 % sank und am 22.05 unter 40 %. Bis zum 30. Juni sank sie bis 16 %, erholte sich durch einige Regenschauer und sank anschließend bis zum 04. August auf den Tiefstwert von 5 %. Ab dem 25. August stieg die Bodenfeuchte bedeutend an. Grund dafür war ein Regentag mit 52 l/m^2 . Am 09. September gab es erneut 35 l/m^2 , woraufhin die nFK bis zum Jahresende nicht mehr unter 80% sank. Eine Beregnung wäre hier spätestens ab Mitte Mai empfehlenswert gewesen, um dem Bestand keine Ertragsdepressionen durch Trockenstress auszusetzen.

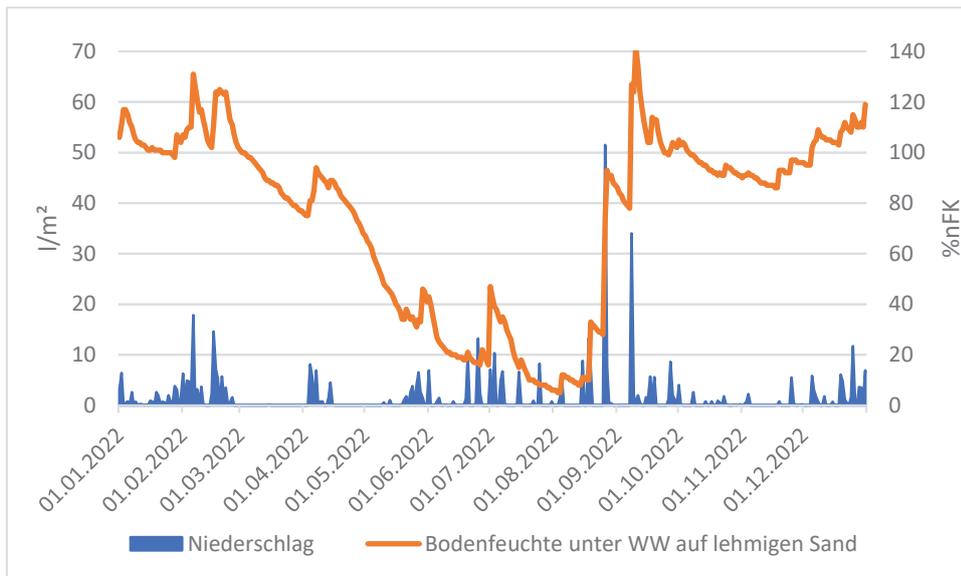


Abbildung 11.: tägliche Niederschlagsmengen und der Verlauf der Bodenfeuchte unter Winterweizen am Standort Demmin aus dem Jahr 2022 Quelle: eigene Darstellung nach DWD,2023

3. Material und Methoden

3.1 Leitungsnetz

Um den genauen Verlauf des ca. 30 km langen Leitungsnetzes ausfindig zu machen, wurden alte Unterlagen des Betriebs gesichtet. Dies geschah über bereitgestellte Betriebsunterlagen und durch eine Sichtung des Archivs vom Wasser- und Bodenverbandes Jarmen. Dabei wurden Vermessungskarten des ehemaligen Melorationskombinates Neubrandenburgs gefunden. Diese stammten aus den 70er Jahren und bildeten den Verlauf des Bewässerungsnetzes ab. Karten, die einen übersichtlichen Verlauf des Bewässerungsnetzes boten, wurden davon herausgesucht und digitalisiert. Für die Georeferenzierung wurden „Bestandszeichnungen“ ausgewählt, da diese nach dem Bau der Bewässerung angefertigt wurden, im Gegensatz zu „Lageplänen“, welche vor dem Bau angefertigt wurden und ungenauer waren. Jedoch wiesen auch diese Karten Ungenauigkeiten auf. Der am häufigsten vertretene Maßstab betrug 1:5000. Bei der Anfertigung wurden die Karten auf Millimeterpapier gezeichnet. Dieser Maßstab hatte zur Folge, dass bei einer Abweichung von 1 mm beim Zeichnen eine Abweichung von 5 m in der Fläche vorhanden war. Diese traten besonders in Bereichen auf, an denen es wenig Orientierungspunkte in der Landschaft gab. Nach dem Sichten der Karten wurden die meist 80* 80 cm großen Karten mithilfe eines Großformatscanners eingelesen und als tiff- Datei mit einer Auflösung von 600 dpi gespeichert. Diese hohe Auflösung war für die auf 20 cm genaue Bestimmung des Leitungsverlaufs notwendig. Anschließend wurden die Dateien in das

Geoinformationsprogramm „QGIS“ geladen und dort mithilfe von Orthotropen Luftbildern aus dem Gebiet georeferenziert. Als Koordinatensystem wurde dabei WGS 84/ UTM zone 33N verwendet, da dies für den Einsatz in Deutschland geeignet ist. Die orthotropen Luftbilder wurden aus verschiedenen Jahrgängen verwendet. Sie erstreckten sich von 1991 bis 2021. Die Orthotropen Luftbilder stammten dabei vom „GeoPortal Mecklenburg-Vorpommern“ und waren nötig, da diese im Vergleich zu anderen Luftbildern georeferenziert und verzerrungsfrei sind (*BGR Geoportal - Geoviewer*, 2023). Beim Georeferenzieren der Meliorationskarten wurden markante unbewegliche Punkte verwendet, welche heute noch unverändert sind. Diese waren Bewässerungshydranten, Straßenkreuzungen und alte Gebäude. Dabei wurden die markanten Punkte zunächst auf der jeweiligen Karte sowie anschließend auf den orthotropen Luftbildern markiert, um dem jeweiligen Punkt eine Koordinate zuzuweisen. Für die Georeferenzierung von maßstabsgerechten Karten werden mindestens 4 gleichmäßig, im Randbereich der Karten verteilte Punkte benötigt. Durch die teilweise vorkommenden Verzerrungen, wurden bis zu 179 Punkte je Karte gesetzt, um den Verlauf der Bewässerungsleitungen bestmöglich wiederzugeben. Die meisten Punkte wurden dabei auf den vorhandenen Hydranten gesetzt. Bei der Georeferenzierung wurde durch die Abtastmethode „Kubisch“ und dem Transformationstyp „Thin Plate Spline“ in Kombination mit der hohen Anzahl an Referenzpunkten die Karten teilweise gestreckt oder gestaucht, um Ungenauigkeiten auszugleichen.

In den Karten wurden anschließend Kreuzungspunkte vom Bewässerungsnetz und einer Gasleitungstrasse markiert. Außerdem wurden in den Karten Empfehlungen für das Platzieren zusätzlicher Schieber eingezeichnet.

Eine Leitung die, von der Milchviehanlage zu einem Sammelbecken für Silosickersaft und von dort aus zum Pumpenhaus verläuft wurde als Shapelayer in das Geoinformationsprogramm eingefügt, da das Kartenmaterial nicht nach einem Maßstab gezeichnet war und für eine Georeferenzierung der erst 1988 gebauten Leitungen zu ungenau war (siehe Abbildung 17 und Abbildung 18). Insgesamt können 1000 ha von der Betriebsfläche beregnet werden.

3.2 Einsatzmanagement

Um in der späteren Arbeit ökologische Effekte, wie zum Beispiel Arbeitszeiteinsparung beurteilen zu können, musste zunächst eine Aufstellung der Ist- Situation erfolgen. Auch waren diese hier erarbeitenden Werte Basis für die Wirtschaftlichkeitsrechnungen im darauffolgenden Kapitel.

3.2.1 Beregnungskapazität

Die Beregnungskapazität gibt wieder, wie viel Fläche der Betrieb momentan in einem Jahr maximal beregnen kann (siehe Tabelle 3). Dieser Wert entscheidet darüber, in welchem Umfang und in welcher Geschwindigkeit eine Beregnung stattfinden kann. Die Datengrundlage für diese Rechnungen bildeten betriebliche Werte und Werte des KTBL (Belau et al., 2013). Die Beregnungskapazität richtet sich maßgeblich nach der Laufzeit und demnach nach dem Start der Bewässerung im Frühjahr und dem Ende der Bewässerung im Sommer.

In der hier gewählten Rechnung wurde von einem Beregnungszeitraum von 17 Wochen ausgegangen. Dieser erstreckt sich von Mitte April bis Mitte August.

Da der Betrieb fünf Beregnungstrommeln mit 400 m Schlauchlänge und eine Beregnungstrommel mit 500 m Schlauchlänge im Einsatz hat, wurden auch bei der Länge der Bahnen unterschiedliche Werte verwendet, um die realen Bedingungen möglichst genau abzubilden. Reparatur und Ausfallzeiten wurden sowohl bei der Durchsatzleistung als auch im benötigten Arbeitszeitbedarf nicht berücksichtigt. Daher handelt es sich bei der Auswertung um eine potenzielle Beregnungskapazität.

Für diese Berechnung musste zunächst der Arbeitszeitbedarf je Bahn berechnet werden. Dieser Wert ergab sich aus der Zeit für das Aufstellen und Ausziehen, der Zeit für den Transport zum Einsatzort bzw. zum neuen Hydranten und der Beregnungsdauer einer Bahn.

Anschließend konnte aus der Arbeitszeitdauer je Bahn und der täglichen Beregnungszeit die tägliche Hektarleistung errechnet werden.

Für die 400 m Trommeln wurde eine Bahnlänge von 300 m angenommen und für die 500 m Trommel eine Bahnlänge von 440 m. Diese Werte wurden so gewählt, da die Hydranten oftmals in der Schlagmitte platziert sind und die Trommel aus diesem Grund überwiegend nicht die volle Schlauchlänge ausnutzen kann. Auch die längeren Bahnen, bei denen ausschließlich die 500 m Trommel verwendet werden kann, benötigen überwiegend nicht die gesamte Schlauchlänge. Auch die Durchflussmenge der 400 und 500 m Trommeln wurden unterschiedlich dargestellt. Alle Regner haben eine 26 mm Düse verbaut, doch ein unterschiedlicher Betriebsdruck sorgt für unterschiedliche Ausbringmengen bei den Trommeln. So können die 400 m Trommeln mit bis zu 4,5 bar betrieben werden, was einem

Wasserdurchfluss von 55 m³/h entspricht. Durch den längeren Schlauch der 500 m Trommel ist der Druckverlust höher und die Trommel erreicht nur 3 bar an der Düse. Dadurch liegt der Durchfluss bei 48 m³/h. Da die Trommel am Wochenende meistens nicht versetzt werden, wurde dies bei der Rechnung berücksichtigt und von einer Beregnung über das Wochenende von einer erhöhten Bewässerungsmenge ausgegangen, da so hohe Standzeiten vermieden werden. Auch die tägliche Laufzeit der Trommeln wurde bei der 500 m Variante die tägliche Laufzeit um 1,5 h höher angesetzt, da die Trommel durch ihre längere Einzugszeit eine geringere Standzeit bis zum erneuten Umsetzen hat.

Diese tägliche Hektarleistung je Trommelregner wurde für alle sechs Beregnungstrommeln zusammengerechnet und daraus konnte mithilfe der Anzahl an Beregnungstagen die maximale Beregnungskapazität in ha errechnet werden.

3.2.2 Bewässerungsmengenberechnung

Ein Standort gilt als bewässerungswürdig, wenn seine klimatischen Bedingungen mit dem Wasserspeichervermögen seines Bodens die Kulturpflanze, während ihrer Vegetationszeit, nicht ausreichend mit Wasser versorgen, um ein gesichertes Wachstum - ohne Ertrags- und Qualitätsminderungen- zu gewährleisten (DWA, 2019). Damit ist der Osten Deutschlands überwiegend bewässerungswürdig. Die im Betrieb bewässerten Mengen unterscheiden sich von den in der Literatur empfohlenen Mengen. Daher wurden diese gegenübergestellt.

Die für den Betrieb optimale Bewässerungsmenge für das Jahr 2023 wurde über das Programm „Agrowetter“ vom Deutschen Wetterdienst berechnet. Dem gegenüber wurde die 2023 tatsächlich berechnete Menge je Kultur gestellt (Deutscher Wetterdienst, 2023).

Betriebliche Menge

Die im Betrieb bewässerte Menge je Kultur richtet sich stark nach der Kapazität der Beregnung. Dabei ist nicht die genehmigte Entnahmemenge der begrenzende Faktor, sondern die zur Verfügung stehende Zeit in anhaltenden Trockenperioden, welche vorwiegend im Juni auftreten. Aus diesem Grund wird der Fokus auf einzelne Kulturen gelegt. Dabei steht der Futterbau im Mittelpunkt.

Bei der Bewässerung liegt der Fokus vor allem auf dem Mais und dem Ackergras. Diese wurden, wie in Tabelle 1 zu sehen, mit drei Berechnungsgängen mit je 30 l/m² bewässert. Die Zwischenfrucht und der Grünroggen werden kurz vor der Ernte bewässert, damit Wasser für den anschließend gelegten Zweitfruchtmais zur Verfügung steht und dieser ausreichend Wasser für die Keimung hat. Diese Bewässerungsmenge der Zwischenfrucht und des Grünroggens kann daher anteilig dem Mais zugerechnet werden. Daher wurden 2/3 der Zwischenfruchtberechnung dem Mais zugerechnet. Dies bedeutet, dass der Zweitfruchtmais eine effektive Bewässerungsmenge von 110 l/m² erhält.

Tabelle 1: Einsatzumfang der Beregnung im Jahr 2023

Quelle: eigene Darstellung nach betrieblichen Daten

Kultur	beregnete Fläche in ha	Anzahl Begegnungen	Gesamte Beregnungsmenge l/ha	Gesamtfläche beregnet in ha
Weizen	97	1	30	97
Gerste	140	1	30	140
Grünroggen (vor Mais)	90	1	30	90
Zwischenfrucht/ Kleegrasmischung (vor Mais)	90	1	30	90
Mais	200	3	90	600
Mais Zweitfrucht	180	3	90	540
Ackergras	75	3	90	225
Summe	872			1782

Werden alle Bewässerungsmaßnahmen zusammengerechnet, wurden 2023 insgesamt 1782 ha bewässert.

Richtwerte

Für die Errechnung von langjährigen Richtwerten der Bewässerungshöhe wurde ein Merkblatt für Behörden zur Beurteilung von Anträgen zur Wasserentnahme für die Bewässerung veröffentlicht. Mit diesem können Richtwerte für die Bewässerung errechnet werden (DWA, 2019). Grundlage dafür ist die in der Abbildung 12 abgebildete klimatische Wasserbilanz von Mecklenburg-Vorpommern für die Hauptvegetationszeit. Diese Daten beziehen sich auf die

Bilanz zwischen Niederschlagssumme und die potenzielle Verdunstung über Gras und bilden die Basis für die Ermittlung des Zusatzwasserbedarfes dient (DWA, 2019). Der Betrieb befindet sich westlich vom zentral in der Karte liegenden Ort Demmin. Damit liegt er an der Grenzen vom Klimaraum E. Dieser Raum erstreckt sich über einer negativen Wasserbilanz von 100-150 mm im Hauptvegetationszeitraum. Da der Ort an der Grenze zum Klimaraum F liegt, wurde von einer negativen Wasserbilanz von 150 l/m² in diesem Zeitraum ausgegangen.

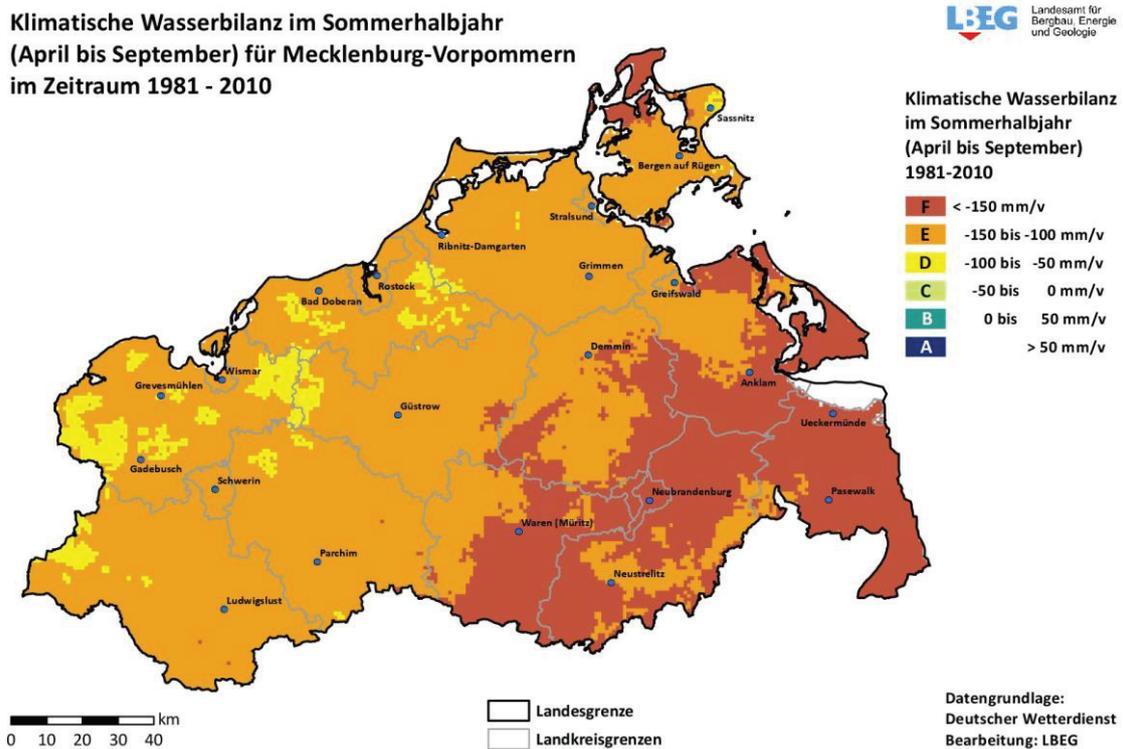


Abbildung 12: Klimatische Wasserbilanz von April bis September im Zeitraum 1981-2010 für die Ableitung des Zusatzwasserbedarfes
Quelle: DWA-Merkblatt M590, 2019

Neben der klimatischen Wasserbilanz in der Vegetationszeit wurden auch die nFK im effektiven Wurzelraum und die jeweilige Kulturart benötigt (siehe Tabelle 2). Die nFK wurde hier mit einer Spanne von 90-140 l/m² angegeben.

Empfohlene Menge

Für die empfohlene Menge wurde das Bewässerungsprogramm Agrowetter vom Deutschen Wetterdienst verwendet. Dies verwendet ein AMBAV Rechenmodell (Agrarmeteorologisches Modell zur Berechnung der Aktuellen Verdunstung) zur Ermittlung der realen täglichen Verdunstung und damit der Veränderung im Wasserhaushalt des Bodens. Dieses Modell arbeitet dabei mit kc Werten (kulturspezifischer Crop- Koeffizient), welche die unterschiedliche Transpirationsmenge der jeweiligen Kultur und deren Entwicklungsstand widerspiegeln.

Dazu wurde eine für den Betrieb durchschnittliche Fläche mit einer Feldkapazität von 23% und einem Totwasseranteil von 6% gewählt. Daraus ergab sich eine nFK von 17 % im effektiv durchwurzelbaren Raum (siehe Anhang 1). Anschließend wurde die jeweilige Kultur ausgewählt, da diese einen fundamentalen Anteil an der täglichen Transpiration ausmacht. Dabei sind vor allem die in der Berechnungsformel hinterlegten kc- Werte entscheidend. Sie geben an, wie stark die Pflanze zu welchem Zeitpunkt in der Entwicklung transpiriert. Für die einzelnen Kulturen wurden die Zeitpunkte der wichtigsten Entwicklungsschritte hinterlegt. Anschließend wurden die Berechnungsstrategien ausgewählt. Bei Mais und Ackergras wurde eine optimale Beregnung ab 50% nFK angesetzt und für alle anderen Kulturen eine reduzierte Bewässerung ab 35% nFK. Da die Wasserversorgung besonders in den ertragssensiblen Entwicklungsphasen wichtig ist wurde die berechnete Beregnung erst ab diesen Phasen berücksichtigt. Diese Phasen sind gleichzusetzen mit den kulturspezifischen Hauptberegnungszeiträumen. Meistens ist es nicht anzuraten, mit der Beregnung zu früh zu beginnen, damit die Pflanzen den Hauptteil ihrer Wurzel nicht in den oberen Bodenschichten ausbilden. Sie sollen von Anfang an ein kräftiges, tief reichendes Wurzelwerk ausbilden und den Blattapparat dagegen nicht zu üppig entwickeln. Zu dichte, blattreiche Bestände bilden nicht unbedingt einen höheren Ertrag, benötigen durch eine gesteigerte Verdunstung aber mehr Wasser (Fricke, 2013a). Aus diesem Grund wurde beim Mais erst mit Beginn des Längenwachstums mit der Beregnung begonnen. Die wichtigsten Phasen beim Mais stellt die Wasserversorgung vom Fahnenziehen bis zur Kornfüllung bzw. die mittlerer Milchreife dar. Entscheidend ist die Zeit der Blüte (Fricke, 2013a). Beim Getreide wurde ab der Hauptberegnungsphase von Mitte Schossen bis Ende der Milchreife gerechnet. Bei Ackergras und den Zwischenfrüchten wurde mit einer optimalen Wasserversorgung ab Vegetationsstart gerechnet.

Anschließend wurden die täglichen Niederschläge der Wetterstation Demmin eingepflegt. Durch Nachfrage beim deutschen Wetterdienst wurde für die Zwischenfrucht und das Ackergras die Kultur „Rasen“ ausgewählt, da diese beiden Kulturen nicht hinterlegt waren, aber die kc- Werte der Kulturen, mit denen die anderen beiden weitestgehend übereinstimmen. Auch bei der Auswahl von Mais, welcher nur als Körnermais verfügbar war, spielte das keine Rolle, da er mit dem Silomais gleichzusetzen war.

Tabelle 2: Nutzbare Feldkapazität der einzelnen Kulturen einer Durchschnittsfläche des Betriebes
 Quelle: eigene Darstellung geändert nach Geologischer Dienst NRW, 2008 (Anhang 1)

Bodenart/ Bodenpunkte	nFK in %	Kultur	Nutzbarer effektiver Wurzelraum in cm	nFK in l/m ² im effektiven Wurzelraum
SI2/ 35	17	Mais	60	102
		Mais Zweitfrucht	60	102
		Ackergras	50	85
		Zwischenfrucht	60	102
		Grünroggen	60	102
		Wintergerste	60	102
		Winterweizen	60	102

In der Tabelle 2 wurden die nFK für die jeweilige Kultur dargestellt, da diese von der effektiven Wurzeltiefe der jeweiligen Kultur abhängt. Dabei entspricht der Wert von 17 % nFK 17 l/m² Wasserspeichervermögen je dm. Da das Ackergras nicht so tief wurzelt wie die anderen Kulturen, steht ihm durch den 10 cm geringeren Wurzelraum 17 l/m² weniger Wasser zur Verfügung.

3.3.4 siwhe

Der Mehrertrag von berechneten Flächen im Vergleich zu unberechneten Flächen ist ein wichtiger Faktor für die Kosten- Nutzenrechnung eines Betriebs. Die Wolkower Milchhof KG hat die Bewässerung für die Ertragssicherung des Futters für die Milchkühe des Betriebs und weniger für die Ertragssteigerung. Dies spiegelt sich auch in den Berechnungsmengen wider, da der Betrieb eher auf eine reduzierte Berechnungsmenge setzt. Die Erträge aus dem Jahr 2023 wurden in der nachfolgenden Tabelle abgebildet. Es gab vereinzelt Flächen mit den jeweiligen Kulturen, die nicht beregnet werden konnten, die den „Ertrag unberechnet“ abbilden. Nur beim Ackergras konnten nicht auf betriebsspezifische Daten zurückgegriffen werden, weswegen dafür Werte aus einem langjährigen Bewässerungsversuch von Welschem Weidelgras der Versuchsstation Berge in Brandenburg herangezogen wurden (Dr. Gutzler et al., 2023). Die Preise bildeten den aktuellen Stand laut der Agrarmarkt Informations-

Gesellschaft mbH vom 28.09.2023 wider (*Bauernzeitung Märkte und Preise ein Service der Agrarmarkt Informations- Gesellschaft mbH*, 2023). Bei dem Preis für die Mais und Grassilage wurde der innerbetriebliche Preisansatz ab Halm mit einem TM-Gehalt von 35 % angenommen. Der als Hauptfrucht gelegte Mais und der als Zweitfrucht gelegte Mais lagen vom Ertrag gleich auf. Aus diesem Grund wurden diese nicht unterteilt.

Die variablen pflanzenbaulichen Kosten für den Mehrertrag können laut KTBL (2016) bei Getreide mit 1,25 €/dt angeben, wohingegen bei Mais und Gras keine variablen Mehrkosten angegeben sind. Diese variablen Kosten setzen sich vor allem durch die Düngung und Pflanzenschutz zusammen.

3.3 Betriebswirtschaftliche Rechnungen

In der Abbildung 13 sind die Zusammenhänge der Kennzahlen, welche für eine Wirtschaftlichkeitsrechnung benötigt werden, aufgeführt. In den folgenden Wirtschaftlichkeitsrechnungen wurden für die unterschiedlichen Investitionen die jeweiligen Kosten und Leistungen berechnet. Dabei kamen nicht bei jeder Investition alle Kosten- bzw. Leistungspunkte zur Anwendung. Es kam auf die jeweilige Investition an. Die Berechnung der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Investitionen war eine Kosten- Leistungsrechnung. Diese Rechnungen wurden in Form einer Vollkostenrechnung angefertigt, um darzustellen, welchen Anteil die jeweilige Investition an der Fixkostenbelastung der Bewässerung zu tragen hat. Damit wird dargestellt, inwiefern sich die ökonomischen Kennzahlen bei den ausgewählten Investitionen verändern. Gerechnet wurden die Investitionen ausschließlich ohne Mehrwertsteuer.

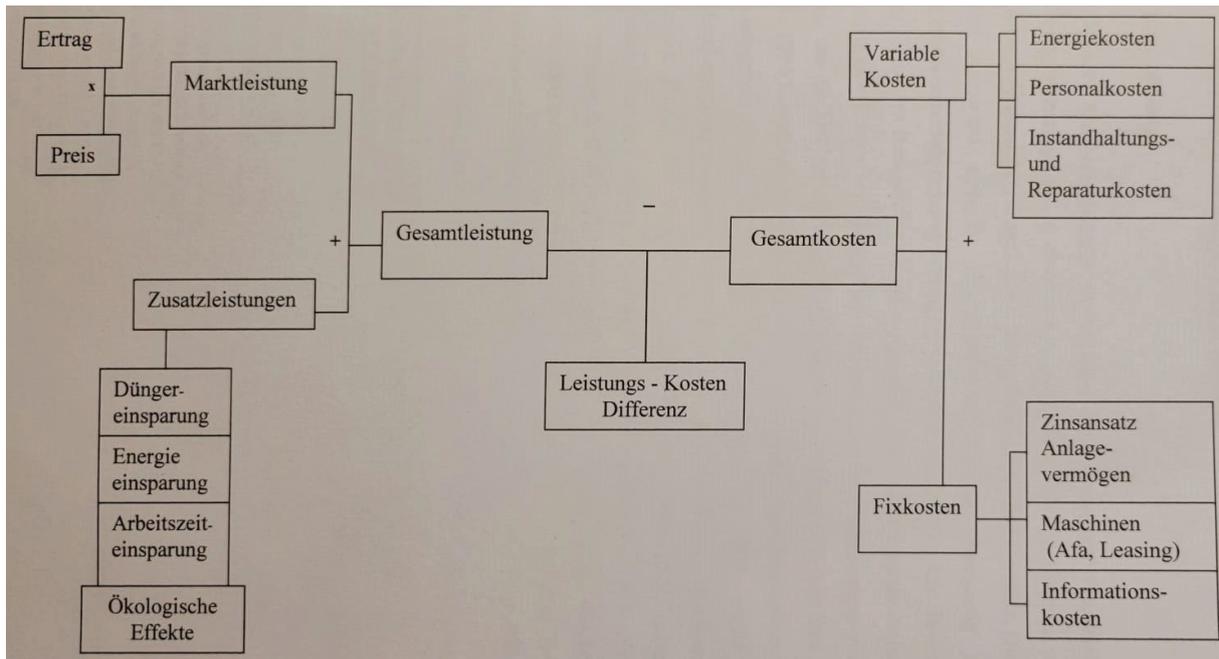


Abbildung 13: Beziehung zwischen den ökonomischen Kennzahlen
Quelle: nach Trenkel, 1999

Die Formel für die Berechnung des Zinssatzes lautet:

$$\text{Zinskosten} = \left(\frac{\text{Anschaffungswert} - \text{Restwert}}{2} \right) * \text{Zinssatz} \quad \text{Formel 1: Zinskosten}$$

Für alle Wirtschaftlichkeitsrechnungen von neuen Investitionen wurde sich am aktuellen Zinsniveau orientiert und ein einheitlicher effektiver Zinssatz von 5,97 % verwendet (KFW Konditionen-Anzeiger, 2023). Bei den Kapitalkosten von bereits getätigten Investitionen und Güter aus dem Anlagevermögen wurden geringere Kapitalkosten aufgrund der vorrangegangenen Niedrigzinsphase verwendet. In diesem Fall 2 %.

Bei den Abschreibungen wurde nach Zeit und nach Leistung vorgegangen. Die Formeln dafür lauten:

$$\text{Abschreibung nach Zeit} = \frac{\text{Anschaffungswert} - \text{Restwert}}{\text{natürliche Nutzungsdauer}} \quad \text{Formel 2: Abschreibung nach Zeit}$$

$$\text{Abschreibung nach Leistung} = \frac{\text{Anschaffungswert} - \text{Restwert}}{\text{technisches Nutzungspotenzial}} \quad \text{Formel 3: Abschreibung nach Leistung}$$

Für Investitionen oberhalb der Auslastungsschwelle wurde die Abschreibung nach Leistung verwendet. Bei Investitionen unterhalb der Auslastungsschwelle wurde die Abschreibung nach Zeit verwendet.

Die Formel für die Auslastungsschwelle lautet:

$$\text{Auslastungsschwelle} = \frac{\text{technisches Nutzungspotenzial}}{\text{natürliche Nutzungsdauer}}$$

*Formel 4:
Auslastungsschwelle*

Um eine einheitliche Bewertung der Mehrleistung einer Investition durch wirtschaftliche Zahlen zu gewährleisten, wurde mit Daten aus den Tabellen Einsatzumfang, Mehrerträgen und Mehrerlösen (siehe Tabelle 1, Tabelle 4 und Tabelle 5) der durchschnittliche Mehrerlös und die durchschnittliche Beregnungshäufigkeit je ha bei 30 l/m³ errechnet. Dabei bezogen sich beide Werte auf das Jahr 2023.

3.3.1 Laufende Kosten

Für die Ermittlung der laufenden Kosten wurden Daten aus dem Geschäftsjahr 2022 und 2023 verwendet.

Die Fixkosten der Beregnung setzten sich zusammen aus der Abschreibung einer Modernisierung der Bewässerungsanlage aus dem Jahr 2021, welche auf 20 Jahre Nutzungsdauer ausgelegt war. Außerdem sind Informationskosten in Form von Servicegebühren für eine Beregnungssteuerung angefallen.

Die variablen Kosten ergaben sich aus den Instandhaltungskosten der Bewässerungsanlage und vor allem der Beregnungstrommeln. Auch zählen hier die Energiekosten in Form von Strom für den Pumpenbetrieb hinein und die Personalkosten für das Umsetzen und Aufstellen der Beregnungstrommeln. Außerdem wurden die Kosten für den Schlepper zum Umsetzen der Anlagen mit eingerechnet.

Für das Anfang der 70er Jahre erbaute und abgeschriebene Leitungsnetz wurde ein Restbuchwert von 1€ veranschlagt. Auch die Pumpen und die Beregnungstrommeln verursachten keine Fixkosten durch Abschreibung, da diese um das Jahr 2000 herum angeschafft wurden.

Dadurch entstehen hierbei fast ausschließlich variable Kosten für Betriebsstoffe, Arbeitszeit, Arbeitsgeräte, Instandhaltung und Reparaturen. Diese wurden der Buchhaltung des Betriebes entnommen.

3.3.2 Zusätzliche Pumpe mit zwei Beregnungstrommel

Eine zusätzliche Pumpe wäre rein rechnerisch nicht notwendig, da die bisherige Beregnungstrommel im Schnitt 300 m^3 je Stunde abnehmen und bei maximaler Durchflussmenge bis zu 336 m^3 je Stunde. Eine weitere Trommel mit maximal 56 m^3 je Stunde würde den Wasserbedarf auf 392 m^3 steigern. Zwei Beregnungstrommeln eines anderen Betriebes, welche zeitweise ebenfalls mit Wasser versorgt werden, benötigen außerdem jeweils 25 m^3 je Stunde. Damit würde der maximalverbrauch je Stunde bei 442 m^3 je Stunde liegen und damit knapp unter der maximalen Fördermenge der Pumpen mit insgesamt 450 m^3 je Stunde. Der ideale Wirkungsgrad mit 75 bzw. 78,5 % der Pumpen ist bei insgesamt 395 m^3 je Stunde erreicht. Da jedoch unerwartete Probleme, wie Wasserverlust durch Undichtigkeiten, auftreten können, wird eine zusätzliche Pumpe in dieser Rechnung berücksichtigt. Damit besteht auch für die Zukunft die Möglichkeit, weitere Beregnungstrommeln mit Wasser zu versorgen.

Bei der Investition in eine Beregnungstrommel mit Starkregner wurde von einer Schlauchlänge von 400 m, einem PE-Rohrdurchmesser von 100 mm und einer Arbeitsbreite von 72 m ausgegangen. Die natürliche Nutzungsdauer lag bei acht Jahren. Bei den Personalkosten wurde von 0,4 Akh/ha ausgegangen (Fricke, 2013b). Bei den Reparaturkosten wurden Werte vom KTBL verwendet.

Die Laufzeit der Pumpe wurde mit 1300 h jährlich angegeben. Dies entsprach einer Laufzeit von 65 Tagen bei 20 h Laufzeit je Tag und deckte damit die Auslastung von 178 ha je Trommel ab. Bei dieser Auslastung wurde sich an Kapazitätsengpässen in der Hauptberegnungszeit orientiert. Für die Auswertung dieser Ausgangssituation siehe 4.3.2 Zusätzliche Pumpe mit zwei Beregnungstrommel.

3.3.3 Düsenwagen

Für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit eines Düsenwagens musste zunächst die Abschreibung berechnet werden. Für die Bestimmung der Investitionssumme wurde ein Angebot für einen Düsenwagen mit 64 m Gestängebreite und einer Arbeitsbreite von 68 bis 84 m eingeholt (Beinlich, 2023). Damit eine Beregnung von Mais in späteren Entwicklungsphasen möglich ist wurde als Zusatzausrüstung eine hydraulische, vom Schlepper bedienbare, Höhenverstellung ausgewählt. Die natürliche Nutzungsdauer liegt hierfür bei acht Jahren (Achilles et al., 2018). Bei den variablen Kosten waren der Arbeitszeitaufwand und die Wasseraufwandmenge bedeutende Variablen. Der Düsenwagen

hat systembedingt eine länger Umsetzzeit. Dies entspricht einem höheren Zeitaufwand beim Umsetzen von 10 Minuten für das Ein- und Ausklappen im Vergleich zum Starkregner. Dieser höhere Zeitaufwand für das Auf- und Zuklappen des Gestänges spiegelt sich in dem erhöhten Arbeitszeitbedarf von 0,58 AKH/ ha wieder.

Das wirtschaftliche Potenzial eines Düsenwagens liegt an den folgenden drei Punkten:

1. Die erhöhte Durchflussmenge, durch die hohe Anzahl an Düsen und der damit einhergehende erhöhte Flächenleistung.
2. Die Reduzierung der Wassermenge durch die geringere Verdunstung und die genauere Wasserverteilung.
3. Die Reduzierung des Drucks und damit einhergehend Energieeinsparung.

Der Düsenwagen benötigt einen geringeren Betriebsdruck im Vergleich zu den Starkregnern. In dem Betrieb werden die Starkregner mit 3 bis 4,5 bar betrieben. Der Düsenwagen benötigt hierbei lediglich 2 bar an den Düsen (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft & Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, 2012). Diese Energieeinsparung soll zur Wirtschaftlichkeit eines Düsenwagens beitragen. Die Absenkung des Betriebsdruckes um 2 bar entspricht dabei einer Energieeinsparung von 20 %. Jedoch kann ein Absenken des Betriebsdruckes in dem Betrieb nicht umgesetzt werden, da ein Leitungsanschluss am gleichen Leitungsnetz wie bei den Starkregnern vorliegt und diese den höheren Druck benötigen. Aus diesem Grund wurde die Wirtschaftlichkeit in Hinsicht auf die mögliche Reduzierung der Wassergaben und den erhöhten Wasserdurchfluss des Düsenwagens berechnet. Als nachteiliger Faktor stand dem der erhöhte Arbeitszeitaufwand beim Betrieb gegenüber. Die Wasseraufwandmenge durch geringere Verdunstung von Düsenwagen kann bis zu 15 % geringer ausfallen als die des Strengers (Soureil & Scheibe, 1999). Da hier jedoch auch von Nachtberegnung bei geringer Verdunstung ausgegangen wurde Die Beregnungsgaben wurden in den Rechnungen um 10 %, von 30 mm auf 27 mm reduziert.

Durch die 20 Düsen erreichte der Düsenwagen eine Durchflussmenge von 80 m³/ h. Dadurch lag die Beregnungsintensität bei 57 mm/ h. Die maximal sinnvolle Beregnungsintensität bei lehmigem Sand und bedecktem Boden liegt bei maximal 60 l/h (*Boden und Verteiltechnik bezogene Kennzahlen*, 2020 siehe Anhang 3).

Die Gemeinkosten wurden anteilig von Leitungsnetz, Pumpen und allgemeinen Arbeitslohn berücksichtigt.

Durch einen Vergleich mit einem Starkregner wurde die Leistungsfähigkeit des Düsenwagens berechnet. Anschließend wurde die Wirtschaftlichkeit des Düsenwagens mit den Einheitswerten berechnet (siehe 4.3 Betriebswirtschaftliche Rechnungen).

3.3.4 Sektorsteuerung

Die Sektorensteuerung kann auch als Teilbreitenschaltung bezeichnet werden. Hierbei handelt es sich um eine Zusatzausrüstung, der auf den Beregnungstrommeln schon verbauten Steuerung des Herstellers Raindancer. Durch sie ist eine Einstellung der Anschläge des Regners mittels elektromotorbetriebener Anschläge möglich. Dadurch können Ecken am Beginn der Bewässerungsbahn besser ausgerechnet werden, ohne über die Feldgrenze hinaus zu beregnen. Auch Hindernisse können auf diese Weise ausgespart werden, wie zum Beispiel hervorstehende Waldränder. Außerdem kann kurz vor Ende einer Bahn eine zeitlich begrenzte Vollkreisberegnung gestartet werden, um den Bereich vor der Beregnungstrommel ebenfalls voll auszuregnen. Zusätzlich führt dieses System zu einer Verbesserung der Querverteilung des Wassers (*Optimierung der Stickstoffdüngung im Freilandgemüsebau, 2021*).

Bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung wurde nur der Punkt der Teilbreitenschaltung berücksichtigt. Dieser kommt bei für die Arbeitsbreite zu geringen Abständen der Hydranten und an Feldrändern zum Tragen. Die anderen Systemvorteile wurden aufgrund von unzureichenden Datengrundlagen nicht berücksichtigt.

Für die Sektorsteuerung wurde ein Angebot des Herstellers eingeholt (Raindancer, 2023).

Informationskosten fielen in dieser Kalkulation für eine jährliche Servicegebühr an.

Dieser Kostenpunkte bildeten die Fixkosten. Bei den variablen Kosten wurden lediglich Reparaturkosten berücksichtigt.

Auf der Leistungsseite wurde mit dem Nutzen durch Wassereinsparung kalkuliert. Diese entstehen durch die Vermeidung von Überlappungen bzw. Beregnung von nicht Feld Arealen. Außerdem wurde mit der einhergehenden Beregnungszeiteinsparung und der dementsprechenden Energieeinsparung kalkuliert.

Dabei wurden zwei Flächen betrachtet, die sich besonders für dieses System eignen und bei mehrfacher Beregnung eine Trommel auslasten können. Die erste war eine 19 ha Fläche, bei der vor allem ein Hydrant dicht an der Fehlkante stand und die Hydranten in unregelmäßigen Abständen platziert waren. Die zweite Fläche war 60 ha groß und trapezförmig geschnitten. Für diese Fläche kam das Potenzial in Form von Grenzeihaltung im Randbereich zum Tragen.

3.3.5 Beregnungstrommel mit Maschineneinzug

Bei dieser Bauart wird nicht der Regner ausgezogen und die Trommel rollt sich am Feldrand auf, sondern der Regner ist an der Trommel verbaut und diese wird ausgezogen. Die Trommel besitzt dabei ein eigenes Fahrwerk, wodurch auch aktive Kurvenfahrten möglich sind und eine Beregnung von mehreren Bahnen, ohne umzusetzen möglich ist.

Berechnet wurde eine Maschine mit einem Schlauchdurchmesser von 125 mm und einer Schlauchlänge von 1000 m. Für die Berechnung der Fixkosten wurde ein Angebot der Firma Fasterholt eingeholt.

Dieser sollte seine Mehrkosten durch folgende Punkte ausgleichen:

1. Durch die Einsparung von Arbeitszeit, da mehrere Bahnen einer Aufstellung beregnet werden können
2. Durch eine Mehrleistung aus der Verringerung der Standzeiten.

Die Schlauchlänge von 1000 m war für den Betrieb realistisch. Der Druckverlust beträgt hierbei 2,6 bar. Bei 7 bar Druck am Hydranten erreicht der Druck am Regner noch 4,4 bar. Dies liegt an einer geringen Wandstärke von 9 mm des Schlauches (Fasterholt, 2023). Diese kann so dünn sein, da er kaum Zugkräfte aushalten muss.

Für die Berechnung der variablen Kosten wurde eine durchschnittliche Bahnlänge mit 280 m angesetzt und lag damit leicht unter dem Schnitt der 400 m Trommeln (siehe Tabelle 3). Bei dieser Schlaglänge wäre es möglich mit einer Aufstellung drei Bahnen zu beregnen. Der Arbeitskräfteeinsatz wurde mit 0,2 Akh/ ha angesetzt, da das Umsetzen mehr Zeit in Anspruch nimmt und auch die Möglichkeit von lediglich zwei Bahnen bei längeren Strecken berücksichtigt wurde.

Die Gemeinkosten wurden anteilig von Leitungsnetz, Pumpen und allgemeinen Arbeitslohn berücksichtigt.

3.3.6 Wasseruhr

Es wurde die Wirtschaftlichkeit einer Wasseruhr an der Pumpenstation betrachtet. Bislang erfolgt die Mengenüberwachung des beregneten Wassers ausschließlich über das Rainsensorsystem, welches den Wasserdurchfluss an den Düsen der Anlage misst.

Bei der Wasseruhr wurden zunächst die Fixkosten berechnet. Dafür wurde ein Angebot der Firma Hydro- Air eingeholt (Hydro- Air international Irrigation Systems GmbH, 2023). Die variablen Kosten lagen hierbei ausschließlich bei den Reparaturen. Diese bildeten die Gesamtkosten.

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung gab hierbei an, wie viel Wasser durch frühzeitiges bemerken und beseitigen von Leckagen oder Rohrbrüchen eingespart werden muss. Dabei dienten die Daten der laufenden Kosten als Grundlage (siehe Tabelle 7).

4. Ergebnisse

4.1 Leitungsnetz

Die Georeferenzierung wurde anhand von Bestandszeichnungen umgesetzt. Bei diesen war kein Maßstab auf den Karten angegeben, dennoch wurden sie im Maßstab 1:5000 auf Millimeterpapier angefertigt (Wasser- und Bodenverband Jarmen, persönliche Kommunikation, 15. Juni 2023). Die Bestandszeichnungen wurden, im Gegensatz zu den Lageplänen, erst nach dem Bau angefertigt. Dadurch kann davon ausgegangen werden, dass die Leitungen tatsächlich dort verlaufen. Dies ist relevant, da der Bau zu DDR-Zeiten erfolgte und Projekte durch Materialengpässe teilweise anders umgesetzt wurden als geplant. So waren auch hier Abweichungen feststellbar (Wasser- und Bodenverband Jarmen, persönliche Kommunikation, 15. Juni 2023). Dadurch war das ursprünglich geplante Bewässerungsnetz größer als das heute Existierende. Die Lagepläne wurden von 1972 bis 1974 angefertigt. Gebaut wurde die Bewässerung in den Jahren 1974/1975 und die Bestandszeichnungen wurden in den Jahren 1975/1976 angefertigt. Die hauptsächlich aus Asbestbeton bestehenden Wasserleitungen wurden in einer Tiefe von mindestens 80 cm verlegt. In Bereichen von Erhebungen im Landschaftsbild könnten diese auch bis zu 2 m tief liegen. Durch die Leitungstiefe von 80 cm handelt es sich um keine frostsichere Leitung und muss im Winter entleert sein. Die Hydranten zum Anschließen der mobilen Bewässerungsanlage haben einen Abstand von 60 bis 80 m. Meist liegt dieser bei 72 m.

In der Abbildung 14 ist das Ergebnis der Georeferenzierung von der Karte „Bestandszeichnung Plan 1“ dargestellt. Diese Karte gibt den Hauptteil des Leitungsnetzes wieder. Bei der Georeferenzierung der Karten wurde der Fokus ausschließlich auf das Leitungsnetz gelegt, um unnötige Verzerrungen zu vermeiden. Dadurch sind Abweichungen bei z.B. Landschaftselementen vorhanden. Die Punkte auf den Leitungen sind hierbei Hydranten oder Entlüftungen. Die Querstriche auf dem Leitungsnetz zeigen Absperrschieber an. Im oberen Teil der Karte ist das Pumpenhaus zu sehen, welches das gesamte Bewässerungsnetz mit Wasser versorgt. Von dort aus verläuft es zum Ort Drönewitz und teilt sich dort in mehrere Stränge auf. Dabei läuft ein Strang in Richtung Demmin und der andere in Richtung Warrenzin. Die eingezeichneten Empfehlungen für die Platzierung der Schieber sind dabei hauptsächlich Unterteilungen von langen Leitungen, um im Falle eines Rohrbruchs einen Teil von großen Flächen weiterhin zu beregnen, bzw. um die Wasserversorgung aus einer anderen Richtung zu gewährleisten.

Wie in Abbildung 14 dargestellt, wurde ausschließlich die Georeferenzierung des Bewässerungsnetzes ausgeführt, weswegen teilweise große Abweichungen bei Landschaftselementen oder Straßenverläufen auftraten.



Abbildung 14: „Bestandszeichnung Plan 1“ Verlauf des Leitungsnetzes im Abschnitt Hauptteil auf georeferenzierter Bestandskarte über Orthophotos aus dem Jahr 2020 und 2021 gelber Punkt= Kreuzung mit Gasleitung, grüne Linien = Empfehlung für Schieberplatzierung
Quelle: eigene Darstellung

Links von der „Bestandszeichnung Plan 1“ schließt sich die Karte „Bestandszeichnung Plan 2“ an und unter „Bestandszeichnung Plan 1“ schließt sich die „Bestandszeichnung Plan 3“ an. Aus diesen Karten setzt sich das Bewässerungsnetz des Betriebs zusammen. Oberhalb von der Abbildung 15 existiert ein Leitungsabschnitt, welcher in der Karte „Bestandszeichnung Plan 4“ dargestellt ist. Dieser Abschnitt wurde jedoch nicht georeferenziert, da er heutzutage zu einem Nachbarbetrieb gehört.

In der Tabelle 15 befindet sich das Leitungsnetzteil links bzw. westlich des Hauptteils. Im oberen Teil bei der Karte, an dem die Leitung mit einer Ellipse markiert wurde, existieren im oberen Teil die Hydranten nicht mehr, die Leitung jedoch schon. Darüber befindet sich die Ortschaft Beestland und der nicht zum Betrieb gehörende Teil des Bewässerungsnetzes von „Bestandszeichnung Plan 4“. Besonders das Waldstück im Süden und in der Ortslage Warrenzin wies die Karte erhebliche Ungenauigkeiten auf. Bei der blau markierten Leitung stimmt die Anzahl der vorhandenen Hydranten nicht mit der auf der Karte eingezeichneten überein. Das betrifft den Hydranten am oberen Ende der Leitung und die letzten 10 Stück der unteren Leitung. Eine zusätzliche Schieberplatzierung empfiehlt sich am oberen Ende der Karte, da ab dort das Leitungsnetz nicht mehr zum Betrieb gehört und so eine Absicherung gegen Leitungsschäden des Nachbarbetriebes direkt an der Grenze besteht.



Abbildung 15: „Bestandszeichnung Lageplan 2“ Verlaufsplan des Leitungsnetzes im Abschnitt Warrenzin auf georeferenzierter Bestandskarte über Orthophotos aus dem Jahr 2020 und 2021 gelber Punkt= Kreuzung mit Gasleitung, gelbe Ellipsen= Leitung nicht mehr vorhanden (unten)Hydranten nicht mehr vorhanden(oben), grüne Linien = Empfehlung für Schieberplatzierung, orange Linien u. blaue= Markierung der Leitungen
Quelle: eigene Darstellung

Auf der Abbildung 16 wird der südliche Leitungsteil abgebildet, im blauen Teil verläuft die Leitung unter einem Grundstück. Die beiden empfohlenen zusätzlichen Schieber könnten im Falle eines Rohrbruches dafür sorgen, dass fast die gesamte Fläche unterhalb der Straße weiterhin bewässert werden kann.



Abbildung 16: „Bestandszeichnung Lageplan 3“ Verlauf des Leitungsnetzes im Abschnitt Wolkow und Deven auf georeferenzierter Bestandskarte über Orthophotos aus dem Jahr 2020 und 2021, grüne Linien = Empfehlung für Schieberplatzierung, orange Linien = Markierung der Leitungen, blaue Linie = Leitung durch Ortslage
Quelle: eigene Darstellung

In der Abbildung 17 ist ein momentan nicht verwendeter Leistungsabschnitt zu sehen. Dieser Leitungsabschnitt verläuft vom Sickerwassersammelbecken zum Pumpenhaus und ist durch ein erhebliches Relief geprägt. In dem orangenen Punkt kreuzt die 2006 erneuerte Gasleitung diesen Leitungsabschnitt, wobei nicht klar ist, ob durch diese Baumaßnahme die Leitung beschädigt wurde. In dem Leitungsabschnitt, direkt neben dem in der Abbildung markierten Pumpenhaus, befinden sich heutzutage Bäume, welche im Laufe der letzten Jahrzehnte gewachsen sind.



Abbildung 17: Verlauf der Leitung vom Sammelbecken zum Pumpenhaus, oranger Punkt = Kreuzung mit Gasleitung
Quelle: eigene Darstellung

In der Abbildung 18 wurde der Leitungsverlauf von der Siloanlage der Milchviehanlage in Wolkow, an der Ortschaft Drönnewitz entlang bis zum Dammelbecken des Betriebes eingezeichnet.



Abbildung 18: Leitung von der Milchviehanlage Wolkow zum Sammelbecken
Quelle: eigene Darstellung

Die 60 ha Fläche beim Ort Upost, welche in Abbildung 19 zu sehen ist, ist mit einer Bewässerungsleitung ausgestattet, die jedoch nicht an das Bewässerungsnetz angeschlossen ist. Dadurch muss hier die Wasserversorgung über eine mobile Leitung durchgeführt werden, die aus der Peene ca. 700 m entfernt, gespeist wird. Die Entfernung für einen potenziellen Leitungsanschluss an das Bewässerungsnetz beträgt ca. 1500 m. Das Ende des Bewässerungsnetzes wurde hierbei mit einem blauen Punkt gekennzeichnet.



Abbildung 19: Leitung Upost blauer Punkt= Ende des Bewässerungsnetzes

Quelle: eigene Darstellung

Die georeferenzierten Karten und Leitungen im Shapeformat können in Zukunft über die App „QField“ ausgegeben werden. Durch die Standortortung des Gerätes ist es dabei möglich, sich anzeigen zu lassen, wie weit sich die Leitung vom aktuellen Standort entfernt befindet. Dadurch gestaltet sich die Suche nach Leitungslecks praktikabler.

4.2 Einsatzmanagement

4.2.1 Berechnungskapazität

Bei der Schlag- bzw. Bahnlänge wurde in Tabelle 3 von 300 m bei der kleineren Trommel ausgegangen und von 440 m bei der Großen. Diese Werte spiegeln die Bahnlängen vom Hydranten zum Feldrand realistisch wider. Die Umstellzeiten von 0,26 bzw. 0,3 h sind dem KTBL entnommen worden. Der Durchfluss von 55 m³ wurde gewählt, da er vorherrscht, wenn an der 26 mm großen Düse 4 bar Druck anliegen. Da durch Druckverluste bei der 500 m Trommel nur knapp 3 bar möglich sind, wurde für diese Trommel mit einer Durchflussmenge von 48 m³/h gerechnet. Die Berechnungsmenge wurde mit 30 l/m² im Zeitraum von Montag bis Freitag angegeben. Am Wochenende wurde mit 60 l/m² gerechnet, da die Trommeln am Wochenende nicht versetzt werden. Das bedeutet, sie werden Freitagabend aufgestellt und erst wieder Montagmorgen versetzt. Aus diesem Grund wird mit einer hohen Berechnungsgabe gearbeitet, um die Standzeiten über das Wochenende möglichst gering zu halten. Bei der Ausnutzung der täglichen Zeit wurde für die 400 m Trommel 20 h und bei der 500 m Trommel 21,5 h angesetzt, da die 500 m Trommel durch ihre Länge eine höhere Einzugszeit besitzt und dementsprechend die Standzeiten kürzer gehalten werden können. Somit ergab sich bei pausenloser Berechnung ohne Ausfallzeiten eine potenzielle Berechnungskapazität 125 ha je Woche und 2130 ha je Jahr. Dieser Wert bezieht sich auf einen Berechnungszeitraum von Mitte April bis Mitte August. Außerdem wurde berechnet, welche Fläche mehr beregnet werden könnte, wenn eine normale Beregnung mit Umsetzen am Wochenende stattfinden würde. Dieser Wert lag bei 2428 ha und damit um 162 ha höher als der Wert der momentanen Variante. Quelle: eigene Darstellung geändert nach KTBL und betrieblichen Werten

Tabelle 3: Berechnungskapazität der Bewässerungsanlage

Quelle: eigene Darstellung geändert nach KTBL und betrieblichen Werten

Wert mit Einheit	Einsatzumfang	400 m Trommel Mo-Fr	500 m Trommel Mo-Fr	400 m Trommel Wochenende	500 m Trommel Wochenende	Gesamtleistung	Gesamtleistung bei Dauerbetrieb mit 30 l/m ²
Schlaglänge in m		300,00	440,00	300	440		
Arbeitsbreite in m		72,00	72,00	72	72		
Umstellzeit in h/Vorgang		0,26	0,30	0,26	0,30		
Fahrzeit zu und von Fläche bei 2km in h		0,30	0,30	0,30	0,30		
Durchfluss in m ³ /h	48-56 (52)	55	48	55	48		
Menge/ha in l/m ²		30	30	60	60		30
Beregnungszeit in h/d		20,00	21,50	9,65	16,08		
Geschwindigkeit in m/h		25,46	22,22	12,73	11,11		

Berechnungsfläche h/ha		5,45	6,25	10,91	12,50		
Berechnungsfläche ha/h		0,18	0,16	0,09	0,08		
Berechnungszeit je Bahn in h		11,78	19,80	23,56	39,60		
Fläche je Bahn in ha		2,16	3,17	2,16	3,17		
Umstellzeit in h/Vorgang		0,26	0,30	0,26	0,30		
Zeit Umstellen+ Regen/Bahn in h		12,3	20,4	24,1	40,2		
Anzahl Bahnen /d		1,62	1,05	0,40	0,40		
Anzahl Bahnen von Mo-Fr bzw. Wochenende		8,10	5,27	1	1		
Fläche in ha /d		3,50	3,34	0,86	1,27		
Fläche in ha Mo- Fr		17,50	16,69				
Fläche in ha Wochenende				2,16	3,17		
Fläche in ha/Woche 400m Trommel					19,66		
Fläche in ha/Woche 500m Trommel					19,86		
Anzahl Bahnen/Woche 400m Trommel					9,10		
Anzahl Bahnen/Woche 500m Trommel					6,27		
Akh je d		0,91	0,63	0,40	0,42		
Akh je Woche und Anlage		5,55	4,21				
Akh je komplette Woche mit allen Anlagen		27,74	4,21			31,95	36
Fläche mit allen Anlagen in ha/d		17,50	3,34	4,32	1,27	17,90	21
Fläche mit allen Anlagen in ha/Woche		87,51	16,69	10,80	3,17	125,27	146
Anzahl Wochen mit Beregnung und Gesamtfläche (Mitte April bis Mitte August)	17				0	2130	2480
Anzahl d mit Beregnung und Gesamtfläche	119				0	2130	
Akh je Saison für Umsetzen					0	543	615
Akh je Jahr (Umsetzen, Leitungsbau, Wartung, Reparaturen, Störungen)						1760	

4.2.2 Bewässerungsmengenberechnung

Richtwerte

Auf Grundlage der klimatischen Wasserbilanz werden laut DWA in mittleren Trockenjahren Bewässerungsmengen von 70-90 l/m² bei Silomais empfohlen (siehe Abbildung 12). Beim Weizen liegt dieser Wert zwischen 80 und 120 l/m². Für alle weiteren Getreidearten, mit Ausnahme von Sommergerste, werden zwischen 50 und 85 l/m² empfohlen (DWA, 2019).

Berechnete Menge

Bei jeder Beregnungsmaßnahme wurden 1,5 l/m² abgezogen, was die unmittelbar auftretenden Verdunstungsverluste der Beregnung zu berücksichtigt.

Ein Beispiel für die Auswertung des Programms ist im Anhang 2 für Mais enthalten. Daraus erkenntlich ist, dass die Beregnungsmenge für eine optimale Bewässerung von Mais als Hauptfrucht ab dem Längenwachstum in diesem Jahr mit 90 l/m² und drei Beregnungsgängen ausreichen war. Der maximal effektive Wurzelraum wurde dabei mit 60 cm bemessen, was eine nFK von 102 l/m² entspricht (siehe Tabelle 2). Eine Beregnungsempfehlung wurde ab 40 % nFK ausgegeben. Die Bilanz sah dabei wie folgt aus:

Über die Vegetation entstand ein Wasserverbrauch aus Transpiration und Verdunstung von 309 l/m², dabei ergab sich eine Versickerung von knapp 6 l/m², was zusammen genommen 315 l/m² ergibt. Dem gegenüber standen 194,6 l/m² Niederschlag, 86,6 l/m² effektives Beregnungswasser und 35 l/m² Wasser aus dem Bodenvorrat.

Hätte keine Beregnung stattgefunden, hätte die Verdunstung durch die Reduzierung der Transpirationsrate bei Trockenstress nur bei 283 l/m² und das genutzte Bodenwasser bei 88 l/m² gelegen.

Die Zwischenfrucht, bei der es sich um eine Klee-grasmischung handelte, benötigte rechnerisch keine Beregnung. Die durchgeführte Beregnung diente dem nach dem Umbruch gelegten Mais.

Bei der Beregnung des Grünroggens hätten 15 l/m² ausgereicht. Durch die Niederschläge war der Bodenwasservorrat ausreichend gefüllt und die Pflanzenverdunstung des Roggens war noch gering.

Beim Zweitfruchtmais wäre rechnerisch ein weiterer Beregnungsgang von 15 l/m² notwendig gewesen. Somit lag hier die berechnete Menge bei 105 l/m². Die Startfeuchte wurde durch die Vorfrucht und die vorherige Beregnung 65 % nFK angegeben.

Das Ackergras kam bei der grundwasserfernen Fläche auf einen berechneten Beregnungsbedarf von 300 l/m² und war aufgeteilt in zehn Gaben. Der effektive Wurzelraum lag auch hier bei 50 cm und es wurden keine Nachlieferungen aus kapillarem Aufstieg durch die grundwasserferne Lage angesetzt.

Für eine ideale reduzierte Beregnung ab 35% nFK der Wintergerste wären drei Beregnungsgaben, demzufolge 90 l/m² nötig gewesen.

Beim Weizen wäre für eine ideale reduzierte Beregnung ab 35 % nFK eine Bewässerungsmenge von 120 l/m² benötigt worden.

Ein Beispiel für die Auswertung des Programmes ist im Anhang 2 für den Hauptfruchtmais enthalten. Daraus erkenntlich war, dass die Beregnungsmenge für eine ideale Beregnung ausreichen war. Dies ergab sich aus klimatischen Wasserbilanz vom 15.04.2023 bis 17.09.2023. Beim Getreide wäre eine zusätzliche Beregnung Ende Mai nötig gewesen.

4.2.3 Mehrertrag

In Tabelle 4 wird dargestellt, dass der Mehrertrag der bewässerten Gerste am niedrigsten ausfiel. Danach folgte das Ackergras. Aufgrund des höheren Preises für Gerste fiel bei dem Mehrerlös je ha das Ackergras mit knapp 48 €/ ha am geringsten aus. Den höchsten Mehrertrag lieferte dieses Jahr Mais. Auch auf den Mehrertrag je mm Bewässerungsmenge wurde beim Mais mit 53 kg TM/ mm der höchsten Verwertung des Wassers festgestellt. Beim Getreide wurden zusätzlich variable Kosten für den Mehrertrag in Form von Düngung und Pflanzenschutz berücksichtigt.

Tabelle 4: Ermittlung des Mehrerlöses der einzelnen Kulturen durch die Bewässerung
 Quelle: eigene Darstellung nach betrieblichen Daten Ertrag Ackergras geändert nach Dr. Gutzler et al., 2023 und Preise nach Bauernzeitung Märkte und Preise ein Service der Agrarmarkt Informations- Gesellschaft mbH, 2023

Kultur	Beregnung	Ertrag unberegnert in dt/ha	Ertrag beregnert in dt/ha	Mehrertrag	Mehrertrag in dt/ha je mm	Preis je dt	Mehrerlös je ha	Bemerkung	Variable Kosten für Mehrertrag (Düngung, Pflanzenschutz je dt)	Variable Kosten für Mehrertrag je ha	Mehrerlös je ha abzüglich variabler Kosten für Mehrertrag
Ackergras in TM	reduziert	41,9	47,9	14,3%	0,07	2,80 €	47,88 €	Preis bei 35 % TS ab Halm	0,00 €	0,00 €	47,88 €
Mais in TM	optimal	70	122,5	75,0%	0,58	2,80 €	420,00 €	Preis bei 35 % TS ab Halm	0,00 €	0,00 €	420,00 €
Weizen	stark reduziert	64	74	15,6%	0,33	20,00 €	200,00 €		1,25 €	12,50 €	198,75 €
Gerste	stark reduziert	67	71	6,0%	0,13	17,40 €	69,60 €		1,25 €	5,00 €	68,35 €

In Tabelle 5 ist ersichtlich, dass die Kosten der Beregnung beim Ackergras den Mehrerlös übersteigen. Somit ist die Beregnung vom Ackergras unwirtschaftlich und führte zu Verlusten von ca. 134€/ ha. Die höchste beregnungskostenfreie Leistung bot im Jahr 2023 Mais mit knapp 170€/ ha. Als Grundlage für die Kosten ha diente die Kosten je l/m² und die eingesetzte Beregnungsmenge (siehe Tabelle 8 und Tabelle 1). Insgesamt sorgte die Beregnungsanlage 2023 für eine beregnungskostenfrei Leistung von knapp 69.000 bzw. 79,13 €/ ha.

Tabelle 5: Ermittlung der berechnungskostenfreien Leistung je ha
 Quelle: eigene Darstellung

Kultur	durchschnittlicher Mehrerlös je ha	Berechnungskosten je ha	Berechnungskostenfreie Leistung/ha	Gesamt	Durchschnittliche berechnungskostenfreie Leistung/ha
Ackergras	47,88 €	181,54 €	-133,66 €	-10.024,86 €	
Mais	420,00 €	210,21 €	209,79 €	79.720,28 €	
Weizen	198,75 €	60,51 €	138,24 €	13.408,80 €	
Gerste	68,35 €	60,51 €	7,84 €	1.096,91 €	
Gesamt	220,23 €			84.201,12 €	96,56 €

4.3 Betriebswirtschaftliche Rechnungen

Die durchschnittliche Berechnungshäufigkeit je ha betrug 2,04 Durchgänge je Jahr. Dies entspricht 61 l/ m² und ha. Der durchschnittliche Mehrerlös knapp 220 €/ ha. Damit bildeten diese Werte die Basis für die Leistungsrechnungen.

4.3.1 Laufende Kosten

Die in Tabelle 6 aufgeführten jährlichen Fixkosten setzten sich vor allem aus der Abschreibung für eine umfangreichere Leitungsnetzmodernisierung zusammen, welche im Jahr 2021 durchgeführt wurde. Außerdem fallen jährlich die Informationskosten für die Lizenzgebühr einer Berechnungssteuerung an.

Tabelle 6: Jährliche Fixkosten

Quelle: eigene Darstellung nach betrieblichen Werten

Investition					
Modernisierung		Zinskosten (2%) je		Informations-	
Bewässerungsanlage	Abschreibung	Jahr	kosten je Jahr	Fixkosten je Jahr	
123.481,77 €	6.174,09 €	1.377,65 €	781,20 €		8.332,94 €

Aus Tabelle 7 ist ersichtlich, dass die Stromkosten für den Betrieb der Pumpen mit knapp 38.500 € den größten Teil einnahmen. Bei den Personalkosten wurden die Jahresarbeitskraftstunden einer Vollarbeitskraft angesetzt, da diese für den Betrieb der Beregnungsanlage mit allen dafür einhergehenden Aufgaben, wie Reparatur und Wartung anfallen.

Tabelle 7 Zusammensetzung der variablen Kosten nach Zeit und Nutzungseinheit

Quelle: eigene Darstellung nach betrieblichen Werten

Kostenträger	variable Kosten Jahr	Variable Kosten je l/m ²	Variable Kosten je m ³	Rechnungsvariablen
Instandhaltung Beregnungstrommeln je Jahr	4.044,48 €			
Instandhaltung Pumpe je Jahr	5.662,66 €			
Instandhaltung Leitungsnetz je Jahr	13.697,69 €			
Energiekosten Strom je Jahr (22/23)	38.467,05 €			
Schlepperkosten Umsetzen	11.449,18 €			
Personalkosten je Jahr	26.400,00 €			
Energiekosten		0,72 €	0,07 €	
Personalkosten		0,49 €	0,05 €	
Instandhaltungskosten		0,44 €	0,04 €	
Schlepperkosten Umsetzen		0,21 €	0,02 €	
Summe	99.721,05 €	1,87 €	0,19 €	
Beregnung in ha 2023				1782
Bewässerungsmenge in m ³ 2023				534.600
Energiebedarf kWh/ m ³				0,37
Kosten je Akh				15,00 €
Akh je ha (Umsetzen, Störungen, Wartung, ...)				0,99
Personalkosten je ha				14,81 €

Verbrauch Energie in kWh (22/23)				196.600
Preis je kWh (22/23)				0,20 €
Schlepperstunden Umsetzen Bewässerung				318,03
Kosten Schlepper je h inkl. Diesel				36,00 €
Fläche in ha je Beregnungstrommel				297

Aus Tabelle 8 ist ersichtlich, dass die laufenden Kosten der Beregnung bei 2,02 € je l/m² lagen und der Großteil der Kosten durch die variablen Kosten verursacht wurde.

*Tabelle 8: Laufende Kosten nach Zeit und Nutzungseinheit
Quelle: eigene Darstellung nach Tabelle 6 und Tabelle 7*

Laufende Kosten		
	je Jahr	je l/m ²
fixe Kosten	8.332,94 €	0,16 €
	99.721,05	1,87
variable Kosten	€	€
	108.053,99	
Summe	€	2,02 €

Eine durchschnittliche Bewässerungsgabe von 30 l/m² verursacht somit Kosten von 60,60€/ha. Bei einer Beregnung mit 90 l/m² liegen die laufenden Kosten bei 181,80 €/ha.

Im Falle eines Anstiegs des Strompreises auf 30 ct/kWh würden die Kosten je m³ von 2,02 € auf 2,17 € steigen.

4.3.2 Zusätzliche Pumpe mit zwei Beregnungstrommel

Die Fixkosten für eine 400 m Beregnungstrommel mit 100 mm Schlauchdurchmesser lagen bei 3.706 €. Die Auslastung wurde mit 178 ha bzw. 65 d angesetzt. Dies entsprach 53.500 m³/Jahr. Dadurch lag die Auslastung über der Auslastungsschwelle von 37.500 m³ und die Abschreibung belief sich auf sieben Jahre. Da es sich bei dieser Rechnung um zwei Trommeln handelte, lag dieser dementsprechend mit 7.412 € doppelt so hoch. Bei der Pumpe handelte es sich um 320 m³/h Modell, um die Option für zusätzliche Trommeln zu haben. Die Auslastung der Pumpe wurde mit 1300 h jährlich angegeben. Da dies über der Auslastungsschwelle von 1000 h lag, wurde nach Leistung abgeschrieben. Dadurch entstanden jährliche Fixkosten von 1.749 €. Somit entstanden insgesamt Fixkosten 9.161 €.

Tabelle 9: Ermittlung jährlicher Fixkosten für eine Beregnungstrommel und Pumpe
 Quelle: eigene Darstellung nach Belau et al., 2013

Gegenstand	Kaufpreis in €	Restwert in €	Ab-schreibung	Nut-zung	Kosten in € je Einheit	Wirt-schaftli-ches Nut-zungs-poten-zial in a	Jährliche Zinskosten in €	Jährliche Fixkosten in €	Ge-samt-kosten in €
Trommel mit Starkregner	28.700	10.000	Nach Zeit in a	8	2.338		1.025,96		26.907,65
			Nach Leistung in m ³	375.000	0,05	7,0	1.035,63	3.706	25.951,59
Pumpe 320 m ³ /h	15.000	1.000	Nach Zeit in a	15	933		676,77	1.610	24.151,54
			Nach Leistung in h	15.000	0,93	11,5	535,34	1.749	18.710,81

Bei einem Leitungsdruck von 12 bar hätte die Pumpe 130 kW verbraucht. Bei einem Leitungsdruck von 10 bar, wie er in dem Betrieb verwendet wird, sank der Leistungsbedarf auf 115 kW/h. Es wurde ebenfalls davon ausgegangen, dass die Pumpe an den vorhandenen Frequenzumrichter angeschlossen wurde und damit eine Drehzahl- und Leistungsreduzierung möglich ist. Durch die Abnahme der zwei Beregnungstrommeln von 110 m³/h wurde auch der Energieverbrauch auf diese Abnahmemenge angepasst. Die Energiekosten für die Pumpe und der beiden Trommeln in Tabelle 10 geben zusammen den gleichen Wert wieder. Bei der Zeile Energie je Trommel entspricht dieser der Hälfte vom Energiebedarf der Pumpe, da die Energiekosten auf zwei Trommeln bezogen wurden, welche von der Pumpe versorgt werden. Durch die angenommene Auslastung entstand ein Energieverbrauch von 41.055 kWh, welcher mit 20 ct/ kWh angesetzt wurde (siehe Tabelle 7). Insgesamt ergab die variablen Kosten für eine Trommel ohne Energiekosten 4.712,87 €. Für beide waren dies 9.425,74€. Als Reparaturkosten wurden 0,53 €/ h veranschlagt (Belau et al., 2013).

Tabelle 10: Ermittlung der variablen Kosten der Pumpe und je Trommel
 Quelle: eigene Darstellung nach betrieblichen Daten und Belau et al., 2013

Variable Kosten	Spalte1	Energie	Reparatur	Arbeit	Schlepper	Summe
je Trommel	je Jahr	4.105,91 €	1.071,11 €	1.071,11 €	2.570,66 €	4.712,87 €
	je Einheit m ³		0,02 €	0,02 €	0,05 €	0,09 €
Pumpe	je Jahr	8.211,82 €	567,69 €			8.779,51 €
	je Einheit m ³	0,08 €	0,01 €			0,09 €

Wie Tabelle 11 zu entnehmen, kamen durch Zusammenrechnung der Werte und unter Berücksichtigung für den Erhalt des Leitungssystems mit 25 % bei zwei Trommel und 25 % der allgemeinen Personalkosten für Reparatur, Wartung, etc. (siehe Tabelle 7) ein Wert von 3,49 €/m³ zusammen.

Tabelle 11: Ermittlung der Gesamtkosten für Trommeln und Pumpe
Quelle: eigene Darstellung

Kostenpunkt	je Jahr	je l/m ²
fixe Kosten	9.161,19 €	0,86 €
variable Kosten	18.205,25 €	1,70 €
Gemeinkosten (Anteilig jeweils Instandhaltung Leitungsnetz, Personalkosten allgemein)	10.024,42 €	0,94 €
Summe	37.390,86 €	3,49 €

Wie durch die angenommene Auslastung von 178 ha je Beregnungstrommel in Tabelle 12 ersichtlich, konnten mit den beiden Trommeln 357 ha mit 30 l/m² bewässert werden, was 175 ha bei der durchschnittlichen Aufwandmenge von 61,2 l im Jahr 2023 entsprach. Nach dem Abzug der Kosten vom durchschnittlichen Mehrerlös blieben 6,04€ als beregnungskostenfreie Leistung/ ha. Hochgerechnet waren dies 1.400 € auf die Abschreibungsdauer der Trommeln (siehe Tabelle 11/ siehe 4.3 Betriebswirtschaftliche Rechnungen).

Tabelle 12: Ermittlung Wirtschaftlichkeit der zusätzlichen Pumpe mit zwei Beregnungstrommeln
Quelle: eigene Darstellung nach betrieblichen Daten

Bewässerte Fruchart	Zusätzlich beregnungsbare Hektar	Beregnete Fläche in ha	Gesamte Bewässerungsmenge in l/m ² / ha	Mehrerlös/ ha	Kosten je ha	Beregnungskostenfreie Leistung je ha	Beregnungskostenfreie Leistung/ a	Beregnungskostenfreier Leistung in Bezug auf die Abschreibungsdauer
Durchschnittliche Bewässerungsfreie Leistung aller Kulturen 2023	357	175,0	61,2	220,23 €	213,64 €	6,59 €	175,00 €	1.400,14 €

Damit lag die Wirtschaftlichkeit in der Kosten- Leistungsrechnung als berechnungskostenfreie Leistung bei 6,59 €/ ha.

4.3.3 Düsenwagen

Für den in Tabelle 13 errechneten Einsatzumfang von 404 ha je Jahr (siehe Tabelle 16), lag dieser wesentlich über der Auslastungsschwelle von 54.000 m³. Dadurch wurde nach Leistung abgeschrieben. Die wirtschaftliche Nutzungsdauer betrug dabei 3,56 Jahre und die jährlichen Fixkosten lagen somit bei 8.042 €.

Tabelle 13: Ermittlung der Fixkosten des Düsenwagens
Quelle: eigne Darstellung geändert nach Beinlich, 2023 und Belau et al., 2013

Kaufpreis	Restwert	Ab- schrei- bung	Nutzung	Kos- ten je Ein- heit in €	Wirt- schaft- lich Nut- zungs- dauer in a	Ab- schrei- bung in €	Jährli- che Zinskos- ten in €	Jährli- che Fix- kosten in €	Gesamt- kosten in €
		Nach Zeit in a	8	2.990		2.990,1 3	1.284,0 9	4.274	34.193,72
35.921,0 0 €	12.000,0 0 €	Nach Leis- tung in m ³	432.000,0 0	0,06	3,56	6715,55	1.326,7 9	8.042	28.647,06

Als Reparaturkosten wurden in Tabelle 14 Reparaturkosten vom 0,02 € je qm Wasser angenommen (Belau et al., 2013) Die Schlepperkosten stiegen durch den erhöhten Arbeitsaufwand auf 8.401 €. Somit betragen die die variablen Kosten 2,46 € je l/m².

Tabelle 14: Ermittlung variabler Kosten für Düsenwagen
Quelle: eigne Darstellung nach Betrieblichen Werten und Belau et al., 2013

	Bezug	Energie	Reparatur	Arbeit	Schlepper	Summe
Düsenwa- gen	je Jahr	8.726,61 €	9.166,37 €	3.500,56 €	8.401,33 €	21.068,26 €
	je Einheit m ³	0,07 €	0,08 €	0,03 €	0,07 €	0,25 €
	je l/m ²	0,72 €	0,76 €	0,29 €	0,69 €	2,46 €

Bei zeitlich gleicher Berechnungsdauer je Jahr wie die vorhanden Starkregner lag die Flächenleistung um 107 ha Berechnungsfläche höher (siehe Tabelle 16). Damit lag die

Gesamtleistung des Düsenwagens bei 404 ha jährlich. Wie aus Tabelle 15 ersichtlich lagen die Gesamtkosten bei voller Auslastung dieses Nutzungspotenzials bei 3,19 € je l/m².

Tabelle 15: Ermittlung Gesamtkosten Düsenwagen je Einheit und Jahr
Quelle: eigene Darstellung nach betrieblichen Daten

Kostenpunkt	je Jahr	je l/m ²
fixe Kosten	8.042,33 €	0,66 €
variable Kosten	29.794,87 €	2,46 €
Gemeinkosten (Anteilig jeweils Instandhaltung Leitungsnetz, Pumpen, Trommel, Personalkosten allgemein)	8.300,80 €	0,07 €
Summe	46.138,01 €	3,19 €

Im Vergleich zum Starkregner in Tabelle 16 lagen die Fixkosten bei 0,70 €/ ha, der Düsenwagen lag mit 21,45 €/ ha bei einer Bewässerung um ein Vielfaches höher. Auch die variablen Kosten waren durch den höheren Arbeits- und Schlepperzeitbedarf um 48 ct höher je l/m² als im Vergleich zum Starkregner. Zusammen belief sich dies bei einer 30 l/m² Bewässerung auf Mehrkosten von knapp 58 %. Die Flächenleistung beim Düsenwagen lag jedoch um 107 bzw. 36 % höher, da der Durchfluss je Stunde um 25 m³/ h größer war als im Vergleich zum Starkregner.

Tabelle 16: Kostenvergleich Düsenwagen und Starkregner
 Quelle: eigene Darstellung

	Durchfluss- menge in m ³ / h	Flächen- leistung je ha/ d bei Re- duzie- rung der Wasser- gabe um 10 % beim Dü- senwa- gen (inkl. Wochen- ende und Ar- beitszeit)	Leis- tung in ha/ a auf Ba- sis von 2023 und 30 l/m ² und Be- wässe- rung	Fixkosten/ ha Kosten je ha	variable Kosten je l/m ²	Gesamtkos- ten /ha bei 30 bzw. 27 l/m ²
Düsen- wagen	80	3,74	404,26	19,89 €	2,46 €	86,23 €
Starkreg- ner	55	2,75	297	1,47 €	2,00 €	61,47 €
Diffe- renz ab- solut	25	0,99	107,26	18,42 €	0,46 €	24,75 €
Mehr- leistung Düsen- wagen in	55,45%	36,12%	36,12 %			
Mehr- kosten Düsen- wagen						40,27%

Der Düsenwagen konnte durch den höheren Durchfluss 107 ha im Jahr mehr bewässern (siehe Tabelle 16). Wie in Tabelle 17 dargestellt entsprach dies mit der um 10 % reduzierten Aufwandmenge 55 l/ ha und einer Fläche von 58 ha. Die durchschnittlich Berechnungskostenfreie Leistung je ha entsprach bei den anfallenden Kosten 61,64€ (siehe Tabelle 16). Auf die Mehrleistung bezogen entsprach dies einem Wert von 3.594,89€ je Jahr und auf die wirtschaftliche Nutzungsdauer bezogen 12.805€ (siehe Tabelle 13).

Tabelle 17: Ermittlung Wirtschaftlichkeit eines Düsenwagens
 Quelle: eigene Darstellung nach betrieblichen Daten

Bewässerte Fruchtart	Variante	Bewässerungsumfang in ha/a	Bewässerungsmenge in mm/ha	Wirtschaftlicher Mehrwert je ha	Berechnungskostener Leistung je ha	Berechnungskostenfreie Leistung/a	Berechnungskostenfreier Leistung in Bezug auf die wirtschaftliche Nutzungsdauer	Berechnungskostenfreier Leistung in Bezug auf wirtschaftliche Nutzungsdauer vom Düsenwagen	Berechnungskostenfreier Leistung in Bezug auf wirtschaftliche Nutzungsdauer vom Starkregner	Differenz	
Durchschnittswerte aller Kulturen 2023	zusätzlich mögliche ha gegenüber Starkregner	58	55	220,2 3 €	61,6 4 €	3.594,8 9 €	12.805, 13 €			je Jahr	je ha
	Gesamtfläche Düsenwagen je Jahr	220	55	220,2 3 €	61,6 4 €	13.548, 73 €	48.261, 02 €	20.051, 46 €	23.072, 37 €	3.020, 91 €	- 13,7 4 €

Die Leistungs- Kostenrechnung ergab somit beim Düsenwagen -13,74 € / ha beziehungsweise -3020,91 €/ Jahr.

4.3.4 Sektorsteuerung

Die eigentliche Sektorsteuerung, welche am Regner verbaut wird, wurde durch ein eingeholtes Angebot mit 3.280 € kalkuliert. Die Aufrüstung für das Modul wurde mit 335 € veranschlagt.

Wie aus Tabelle 18 ersichtlich, lagen die Fixkosten somit bei ca. 633 € je Stück.

Tabelle 18: Ermittlung der Fixkosten der Sektorsteuerung
Quelle: eigene Darstellung geändert nach Raindancer Raindancer, 2023

Investition						
Raindancer	Nutzung in a	Abschreibung	Zinskosten je Jahr	Informationskosten je Jahr	Fixkosten je Jahr	
3.615,00 €	8	451,88 €	129,58 €	51,84 €	633,29 €	

Für die variablen Kosten wurden ein Wert von 0,2 ct je m³ veranschlagt, was 0,02 €/ mm entsprach. Im Jahr 2023 hat dies einem Wert von 178,2 € je Stück entsprochen, da jede Trommel 297 ha berechnet hat.

Somit lagen die Gesamtkosten 811,49 € je Jahr.

Wie in Tabelle 19 zu sehen, belief das Einsparpotenzial auf diesen beiden Flächen auf insgesamt knapp 10 % der Fläche, wovon knapp 7% die Einsparungen der Berechnungsfläche an den Feldrändern ausmachten. Dies ergab eine Ersparnis an Berechnungskosten von 219,32 € bei einem Berechnungsgang. Bei einer dreifachen Berechnung der Flächen mit den insgesamt 237 ha ergibt dies eine Ersparnis von 1.033,45 € und eine Berechnungszeiteinsparung von 60,6 h. Somit lag in diesem Fall die Leistungs- Kostendifferenz bei diesen Flächen bei 345,14 € bzw. 1,46 €/ ha.

Tabelle 19: Ermittlung variable Kosten Sektorsteuerung
Quelle: eigene Darstellung nach betrieblichen Werten

Fläche	Einsparung Bewässerungsfläche	Einsparung Überlap-pung in ha	Einspa-rung Feld-rand in ha	Einspa-rung Zeit in h	Einspa-rung Wasser m ³	Einsparung Kosten je Be-regnung
19 ha Fläche bei nördlich Warren-zin	3,62	2,12	1,50	8,6	109	219,32 €
60 ha Fläche süd-lich Fritz- Reuter-Siedlung	2,08	0	2,08	12,0	62	125,82 €
Summe	5,69	2,12	3,57	20,61	170,76	345,14 €

In Betrachtung der Gesamtbetriebsfläche wurde eine Flächeneinsparung von 2 % für die das Vermeiden von nicht Ackerflächen durch die Einhaltung von Feldgrenzen und Aussparungen von Landschaftselementen angesetzt. Der Bereich Einsparung durch Überlappen ist

flächendeckend kaum gegeben, da die Hydranten überwiegend im Abstand von 70- 72 m aufgestellt sind.

Bei den 1.786 ha, welche 2023 berechnet wurden, ergibt sich dadurch eine Flächeneinsparung von 35,72 ha und eine Berechnungszeiteinsparung von 206 h (siehe Tabelle 3). Da bei einer Berechnung mit 30 l/m² Kosten von 60,60 € entstehen (siehe Tabelle 8), betragen die eingesparten Kosten für alle 6 Trommeln 2.164,63€. Je Stück betrug der Wert 360,77 €.

Die Leistungs- Kostendifferenz lag damit bei der Gesamtfläche bei -459,52 € je Jahr bzw. - 3,89 €/ ha.

4.3.5 Berechnungstrommel mit Maschineneinzug

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung wurde eine Berechnungstrommel mit Maschineneinzug statt mit Regnereinzug berechnet. Die Abschreibung von Tabelle 20 wurde nach Leistung durchgeführt und betrug somit 13.611 €.

Tabelle 20: Ermittlung der Fixkosten einer Berechnungstrommel mit Maschineneinzug
Quelle: eigene Darstellung nach Belau et al., 2013

Kaufpreis in €	Restwert	Abschreibung	Nutzung	Kosten je Einheit in €	Wirtschaftlich Nutzungsdauer in a	Abschreibung in €	Jährliche Zinskosten in €	Jährliche Fixkosten in €	Gesamtkosten in €
95.800,00 €	45.000,00 €	Nach Zeit in a	8	6.350		6.350,00	3.424,62	9.775	78.196,96
		Nach Leistung in m ³	450.000	0,11	5,05	10058,4	3.552,95	13.611	68.744,22

Wie aus Tabelle 21 ersichtlich, besteht hierbei die Hälfte der variablen Kosten aus Energiekosten. Die Kosten für Arbeit und Schlepper fallen durch den reduzierten Umsetzungsintervall geringer aus als bei Trommeln mit Regnereinzug. Insgesamt lagen diese bei 14 ct je m³.

Tabelle 21: Ermittlung der variablen Kosten einer Beregnungstrommel mit Maschineneinzug
 Quelle: eigene Darstellung geändert nach betrieblichen Daten und Belau et al., 2013

variable Kosten	Energie	Reparatur	Arbeit	Schlepper	Summe
je Jahr	7.203,19 €	3.003,21 €	979,75 €	2.351,41 €	13.537,56 €
je Einheit m ³	0,072 €	0,03 €	0,01 €	0,02 €	0,14 €
je Einheit l/m ²	0,72 €	0,30 €	0,10 €	0,23 €	1,35 €

Wie aus Tabelle 22 ersichtlich, lagen die Gemeinkosten für die in diesem Fall siebente Trommel Anteilig bei 6.537,19 €. Dies waren Kosten von 3,18 € je l/m².

Tabelle 22: Ermittlung der Gesamtkosten Beregnungsmaschine je Jahr und je Einheit
 Quelle: Eigen Darstellung nach betrieblichen Daten

Kostenpunkt	je Jahr	je l/m ²
fixe Kosten	13.611,35 €	1,36 €
variable Kosten	13.537,56 €	1,35 €
Gemeinkosten (Anteilig jeweils Instandhaltung Leitungsnetz, Pumpen, Personalkosten allgemein)	6.537,19 €	0,65 €
Summe	33.686,11 €	3,37 €

Wie durch Tabelle 23 erkenntlich, konnte die Trommel mit Maschineneinzug durch den geänderten Umsetzinterwall knapp 37 ha im Jahr mehr bewässern als eine Trommel mit Regnereinzug. Diese war eine Mehrleistung von ca. 20 %.

Tabelle 23: Ermittlung Wirtschaftlichkeit der Beregnungsmaschine
 Quelle: eigene Darstellung nach betrieblichen Daten

	Durchfluss- menge in m ³ / h	Flächenlei- stung je ha/ d (inkl. Wochen- ende und Ar- beitszeit)	Leistung in ha/ a auf Basis von 2023 und 30 l/m ² und Be- wässerung	Kosten/ ha je ha	Gesamtkosten /ha bei 30 bzw. 27 l/m ²
Trommel mit Maschinenein- zug	55	3,09	333,69	3,37 €	100,95 €
Trommel mit Regnereinzug (400 m)	55	2,75	297	2,80 €	83,89 €
Differenz abso- lut	0	0,34	36,69	0,57 €	17,06 €
Mehrleistung Düsenwagen	0,00%	12,35%	12,35%		
Mehrkosten Düsenwagen					20,34%

Wie Tabelle 24 darstellt, entstanden durch die Trommel mit Maschineneinzug bei den angenommenen Werten höhere Kosten als durch eine Trommel mit Maschineneinzug. Die Kosten für die Beregnung lagen bei 187,94 €. Dadurch betrug die beregnungskostenfreie Leistung je ha 14,29 €. Letztendlich lag die beregnungskostenfreie Leistung um 49,18 €/ ha geringer als im Vergleich zur Trommel mit Regnereinzug.

Tabelle 24: Ermittlung Wirtschaftlichkeit einer Beregnungstrommel mit Maschineneinzug und Vergleich zum Regnereinzug eine 400 m Trommel
 Quelle: eigene Darstellung nach betrieblichen Daten

Fruchtart	Variante	Zusätzlich be- reg- nete s- bare Hek- tar	Be- reg- nete Flä- che in ha	zu- sätz- liche Be- wäs- se- rungsmeng e in l/m ²	Mehr- trag abso- lut in dt/ ha	Be- reg- skos- ten- freier Leistung je ha	Ge- samt	Beregnungs- kosten- freie Leis- tung Maschi- nenein- zug in Bezug auf die wirt- schaftli- che Nut- zungs- dauer	Beregnungs- kosten- freie Leis- tung Regner- einzug in Bezug auf die wirt- schaftli- che Nut- zungs- dauer	Differenz	
Durchschnittliche Bewässerungsfreie Leistung aller Kulturen 2023	zusätzlich mögliche ha gegenüber Regnereinzug (400 m)	37	18,0	61,2	220,2 3 €	14,29 €	257,01 €			je Jahr	je ha
	Gesamtfläche Maschineneinzugstrommel je Jahr	334	163,6	61,2	220,2 3 €	14,29 €	2.337,40 €	11.805,06 €	19.849,24 €	8.044,18 €	- 49,18 €

Insgesamt lag die Kosten- Leistungsrechnung bei 14,29 €/ ha bzw. 2.337,40 € je Jahr.

4.3.6 Wasseruhr

In Tabelle 25 sind die Fixkosten aufgeschlüsselt. Da es sich um eine bauliche Anlage handelt beträgt Abschreibungsdauer aus diesem Grund 20 Jahre.

Tabelle 25: Ermittlung der Fixkosten einer Wasseruhr für das Pumpenhaus

Quelle: eigene Darstellung nach Hydro- Air international Irrigation Systems GmbH, 2023 und Bundesministerium der Finanzen, 2023

Investition Wasseruhr	Nutzung in a	Abschrei- bung	Zinskosten je Jahr	Fixkosten je Jahr
11.583,55 €	20	579,18 €	166,08 €	745,26 €

Bei den variablen Kosten wurde ein Wert von 250 € im Jahr angenommen, dies entspricht ca. 0,5 ct je l/ m² Wasser.

Somit lagen die Gesamtkosten bei 995,26 € je Jahr.

Um diese Kosten zu decken, muss die Wasseruhr rechnerisch jährlich 2.706 m³ Wasserverlust in Form von Leckagen vermeiden. Für den Fall eines Leckes, bei dem 50 m³/ h verloren gehen, entspricht dies 54 h.

5. Diskussion

5.1 Leitungsnetz

Das Leitungsnetz konnte durch die Georeferenzierung weitestgehend genau bestimmt werden. Dennoch sind dabei auch Bereiche aufgetreten, an denen das Kartenmaterial sehr von der Position der Hydranten abwich. Die Genauigkeit der Georeferenzierung wird je nach Areal von 2 bis 10 m eingeschätzt. Die Georeferenzierung hätte auch mit GPS-Sonden und dazugehörige Empfänger durchgeführt werden können. Dabei wären die Sonden an einem Kabel über die Hydranten durch die Rohrleitungen geschoben worden und darüber hätte der Empfänger dieses orten können. Dabei wäre auch eine Genauigkeit von wenigen Zentimetern gegeben gewesen, doch diese Vermessungsgeräte wären sehr hochpreisig gewesen. Ob sich Kosten und Nutzen dabei im Verhältnis zueinandergestanden hätten, ist fraglich. Für das Auffinden der Leitung für Reparatur und Wartungsarbeiten genügt die Genauigkeit der gewählten Methode. Auch war überraschend, dass bereits ein Teil einer Stichleitung nicht mehr vorhanden war, da dieses im Laufe der Jahre abgerissen wurde.

Die Platzierung der Schieber beim Bau der Anlage erfolgte strategisch vorteilhaft. Es wurden nur einige zusätzliche Schieberplatzierungen empfohlen, da beim Bau an fast allen strategisch wichtigen Knotenpunkten Schieber gesetzt wurden. Dadurch ist es meist möglich, im Fall eines Rohrbruches einen bestimmten Bereich abzusperren, ohne einen großen Teil des Bewässerungsnetzes stilllegen zu müssen.

5.2 Einsatzmanagement

Beim Einsatzmanagement wurde die Beregnungssteuerung mithilfe Bodenfeuchtesensoren nicht berücksichtigt, da der Betrieb schon über Daten von diesen verfügt. Ebenso wurde eine auf eine Auswertung der Einsatzzeitpunkte verzichtet, da dafür nicht vollständige Datensätze vorlagen. Dies lückenhaften Datensätze waren aufgrund von technischen Problemen zurückzuführen.

Die berechnete Beregnungskapazität stellte den Idealfall der Beregnung dar. Jedoch kommt es durch Störungen, Schäden oder logistische Engpässe auch zu Standzeiten der Maschinen und damit zu einer reduzierten Beregnungskapazität. Außerdem wird dabei von einer durchgängigen Beregnung ausgegangen, was in der Praxis nicht immer notwendig ist.

Die rechnerisch geringe Nutzung des Bodenwasservorrates bei der Mengenermittlung der Bewässerung von Silomais ist vor allem auf die ab Mitte Juni ausreichenden Niederschläge zurückzuführen.

Der berechnete Wasserbedarf bei Ackergras von 300 l/m² im Jahr 2023 steht in keinem wirtschaftlichen Verhältnis zu dem daraus hervorgehenden Mehrertrag. Die in diesem Jahr in dem Betrieb berechnete Menge von 90 l/m² im Ackergras reichte bei weitem nicht für eine effektive Beregnung aus. Diese reichte lediglich zum Erhalt der Grasnarbe über die Fröhsommertrockenheit in diesem Jahr. Bei einer Auswertung mit ähnlichen Standortgegebenheiten aus Niedersachsen (Grünlandzahl 30, SII, 86 l/m² nFK, kein kapillarer Aufstieg) zur Bewässerung von Grünland zeigten durchschnittliche Bewässerungsbedarfe von 1971-2000 benötigte Zusatzwassergaben von 238 l/m² und Jahr (Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, 2021).

Auch die berechneten Werte beim Getreide wichen stark von den im Betrieb berechneten Mengen ab. Die ist vor allem der Beregnungskapazität geschuldet. Die 2023 berechneten Beregnungsmengen bei Weizen und Gerste lagen über dem langjährigen Durchschnitt. Beregnungsversuchen am Standort Hamerstorf in Niedersachsen mit 33 Bodenpunkten und 620 mm Jahresniederschlag boten vergleichbare Verhältnisse. Bei Versuchen von 2006-2016 lag die durchschnittliche Beregnungsmenge mit reduzierter Beregnung bei Weizen bei 73 l/m² und bei Gerste bei 49 l/m² (Schimmelpfennig et al., 2017).

Bei der Klee-graszwischenfrucht wäre rechnerisch keine Beregnung notwendig gewesen und beim Grünroggen nur 15 l/m². Dadurch wäre die nFK zur Aussaat des Zweitfruchtmais wesentlich geringer und hätte kurz nach der Aussaat eine Beregnung erfolgen müssen.

Mit dem prozentualen Mehrertrag weichen die Betriebsdaten von Versuchsergebnissen unter ähnlichen Bedingungen ab. Vergleichsweise wurden hier die Ergebnisse von einem Versuchsstandort in Hamerstorf in Niedersachsen dargelegt. Dabei lag die Bodenpunktzahl bei 33 und der jährliche Niederschlag bei 620 l/m². Der Versuch erstreckte sich über sieben Jahre von 2006- 2012. In diesem Versuch wurden jeweils zwei Beregnungsstrategien verglichen. Die reduzierte Beregnung ab 35 % nFK und die optimale Beregnung ab 50% nFK (Fricke, 2013b).

Bei Wintergerste konnte in den Versuchen eine Ertragssteigerung von 21% in der reduzierten Variante erzielt werden und 41 % bei der optimalen Beregnung. Beim Weizen lagen diese bei 45 % in der reduzierten Variante und bei 55 % in der optimalen. Bei Silomais lagen die Ertragssteigerungen im Schnitt bei 9 % in der reduzierten Variante und bei 15 % in der Optimalen (Fricke, 2013b). Dies zeigt auf, dass besonders bei Weizen und Gerste eine

Erhöhung der Bewässerungsmenge auf eine reduzierte Beregnung ab 35 % nFK einen wirtschaftlichen Mehrwert verspricht.

Der Ertragsunterschied bei Mais fällt hingegen sehr viel größer aus als in dem Versuch, was vor allem auf einen Witterungsbedingten Jahreseffekt zurückzuführen ist. Vor allem der unberegnete Zweitfruchtmais weist ein geringes Ertragspotenzial auf, da dieser in seine Jugendentwicklung durch den ausbleibenden Niederschlag ertraglich stark limitiert wurde.

Die Wirtschaftlichkeit der Beregnung von Ackergras ist aus marktpreislicher Sicht nicht gegeben, sichert jedoch das Grundfutter für die Milchkühe und damit die Grundlage des Betriebs für die Veredelung als Milch. Betriebswirtschaftlich stellt sich daher die Frage, inwiefern die Möglichkeit von Zukauf von Grassilage besteht, um die Beregnung des Ackergrases potenziell zu reduzieren.

5.3 Rechnungen

Laut Fricke sind für eine Bewässerung Kosten von 3,70 € / m³ anzusetzen (Fricke, 2013b). Dieser Wert dient als Vergleichsmaßstab für die durchgeführten Rechnungen. Jede Rechnung blieb unter diesem Wert. Der Hauptgrund dafür lag in den abbeschriebenen Gegenständen von Pumpen und dem Leitungsnetz. Dadurch sind die Gemeinkosten oftmals weniger stark ausgeprägt.

5.3.1 Laufende Kosten

Die in den laufenden Kosten berücksichtigten Strompreise sind mit knapp 20 ct/kWh in der momentanen Lage als gering einzustufen. Steigende Strompreise können in Zukunft für höhere Beregnungskosten führen. Dies würde große Auswirkungen haben, da die Energiekosten mit knapp 39 % größten Anteil der variablen Kosten ausmachen.

5.3.2 Zusätzliche Pumpe mit zwei Beregnungstrommel

Der Stromverbrauch für die beiden Beregnungstrommeln mit einer Abnahme von 100 m³/h wurde über den Energieverbrauch der Pumpe berücksichtigt, da diese der eigentliche Stromverbraucher ist. Beim Einsatzumfang wurde nur von 178 ha je Jahr bzw. 65 d (Wochenende mit reduziertem Einsatz miteinberechnet) ausgegangen, da die zusätzlichen Beregnungstrommeln vor allem in dem Hauptberegnungszeitraum, Juni und Juli laufen würden und dementsprechend nicht auf die hohe Auslastung kommen würden

5.3.3 Düsenwagen

Die rechnerisch hohe Auslastung führt zu einer kurzen Lebensdauer durch das begrenzte wirtschaftliche Nutzungspotenzial. Die variablen Kosten waren vor allem durch den zeitlichen Mehraufwand beim Umsetzen von ca. 20 Minuten je Vorgang und den dafür ebenfalls entstandenen Schlepperstunden entstanden. Dem gegenüber stand jedoch der wesentlich höhere Durchfluss von $80 \text{ m}^3/\text{h}$, der durch die 20 vorhandenen Düsen möglich ist. Dieser hohe Durchfluss führte zu Niederschlagsintensitäten von 37 mm/h , welche durch an lehmige Sande aufgenommen werden können. Bei schwereren Böden ist diese Niederschlagsintensität jedoch nicht zu empfehlen, da dies ansonsten zu Erosion und Oberflächenabfluss führen kann. Durch den hohen Durchfluss wurde auch die Mehrleistung von 36 % nach Abzug des zeitlichen Mehraufwandes für das Umsetzen und der um 10 % reduzierten Bewässerungsgabe auf 27 l/m^2 möglich. Die Reduzierung der Bewässerungsgabe erfolgte aufgrund von Versuchen, welche dem Düsenwagen eine 10- 15% geringere Verdunstung nachwiesen (Soureil & Scheibe, 1999). Da mit einer hohen Auslastung über mehrere Monate hinweg kalkuliert wurde, sind auch Zeiten mit geringerer Strahlungsintensität vertreten, was die Durchschnittsverdunstung verringert. Aus diesem Grund wurde lediglich mit einer Wasserreduzierung von 10 % gerechnet. Auch eine sehr viel gleichmäßigere Querverteilung des Wassers ist durch die Wagenkonstruktion gewährleistet (Scheibe, 2002). Ein weiterer Vorteil des Düsenwagens ist, dass die Windanfälligkeit, durch die geringe Wurfweite und die auf nur 1,5 m hängenden Düsen niedrig ist. Ganz im Gegensatz zum Starkregner. Auch treten weniger Verschlämmungen durch die geringere Tropfengröße auf, jedoch muss durch die Niederschlagsintensität immer die Infiltrationsfähigkeit des jeweiligen Bodens beachtet werden.

Eine Anpassung des Druckes und der damit einhergehenden Energieeinsparung konnte nicht berücksichtigt werden. Die Wasserversorgung geschieht über das einheitliche Leitungsnetz, wodurch der Druck nicht reduziert werden kann, da sonst der Betrieb der Starkregner mit den benötigten 7 bis 8 bar an der Trommel und 3 bis 4,5 an der Düse nicht realisiert werden kann. Die Verwendung eines Düsenwagens ist nur in ebenen Geländen zu empfehlen. Zu stark kuppertes Gelände führt bei dem Betrieb durch seine Bauform zu Kippgefahr.

In der Abbildung 20 sind die des hier beschriebenen Modells R64/2. Besonders die seitliche Neigung mit 2 % stellt einen limitierenden Faktor auf einigen Flächen des Betriebs dar.

Übersicht der max. Feldneigung					
Stativ mit mittigem Anschluss					
	R50/2	R57/2	R60/2	R64/2	R76
Steigung	6%	6%	6%	6%	3%
Gefälle	4%	4%	4%	4%	2%
Seitliche Hanglage	3%	3%	3%	2%	1%
Stativ mit seitlichem Anschluß (asymetrisch)					
	R50/2	R57/2	R60/2	R64/2	R76
Steigung	3%	3%	3%	3%	2%
Gefälle	4%	4%	4%	4%	2%
Seitliche Hanglage	3%	3%	2%	2%	1%

Abbildung 20: Einsatzgrenzen des Düsenwagen im Gelände
Quelle: Düsenwagen – Beinlich Beregnung, 2023

Bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung in dem berechneten Fall mit hauptsächlich einer weiteren Bewässerungsgabe beim Weizen konnte der Düsenwagen kein positives Ergebnis abgeben. Die summierte berechnungskostenfreie Leistung von 7.167,16 € bildeten dabei ein hohes Niveau, da in diesem Fall die Beregnung zum passenden Bedarfszeitpunkt vorausgesetzt wurde und das aktuelle Preisniveau im langjährigen Vergleich ebenfalls als gehoben einzustufen ist. Der jährliche Verlust lag in diesem Fall dennoch bei 1.502,51 im Jahr. Demnach unterlagen die konstruktionsbedingten Vorteile des Düsenwagens dem hohen Kapitalbedarf für dessen Anschaffung.

Politische Rahmenbedingungen könnten jedoch in Zukunft für andere ökonomische Ergebnisse sorgen. Durch jede Maßnahme, mit der die Wirtschaftlichkeit des Beregnens mit Starkregner verringert wird, steigt im Verhältnis die Wirtschaftlichkeit des Düsenwagens. So können Verbote von Beregnung mit Einzelregner an Tagen mit hoher Sonneneinstrahlung eine Einführung eines Wasserentgeltes in Mecklenburg- Vorpommern oder die Begrenzung von Wassermengen in Dürreperioden zu einer steigenden Attraktivität von Düsenwagen führen.

5.3.4 Sektorsteuerung

Bei der Sektorsteuerung kam das Ergebnis zustande, dass sich die Sektorsteuerung nur bei Flächen lohnt, die sehr unförmig sind oder viele Landschaftselemente besitzen. Dadurch kommen die Stärken des Systems zum Einsatz. Die Reduzierung der Arbeitsbreite in der Fläche durch zu engen Hydrantenabstand kommt auf dem Betrieb nicht im großen Umfang

zur Anwendung. Unberücksichtigt blieb hierbei jedoch der Systemvorteil, der vereinfachten Vor- und Nachberechnung, um auch am Bahnanfang und Bahnende die volle Bewässerungsmenge auszubringen.

5.3.5 Berechnungstrommel mit Maschineneinzug

Die Berechnungstrommel mit Maschineneinzug kann sich bei der Kosten-Leistungsrechnung knapp im positiven Bereich halten. Der durch den Maschineneinzug vorhandene Vorteil von geringeren Umsetzinterwallen konnte durch die 20 h täglichen- Betrieb der Bestandsanlagen in der Woche seine Vorteile wenig zur Geltung bringen. Durch den hohen Preis konnte sich dieses System im Vergleich zum Regnereinzug mit idealen Umsetzinterwallen nicht durchsetzen. Treten jedoch im Betrieb Engpässe in Form von verfügbarer Zeit zum Umsetzen der Bestandsanlage auf, erhöht sich dadurch die Standzeit der Trommeln und die Vorteile dieses Systems bekommen größere Bedeutung.

5.3.6 Wasseruhr

Die Wasseruhr dient als Absicherung gegen unbemerkte Schäden am Leitungsnetz. Daher ist es nicht möglich, den wirtschaftlichen Mehrwert genau zu bestimmen. Jedoch ist das Leitungsnetz ca. 50 Jahre alt. Durch dieses hohe Alter steigt in Zukunft die Wahrscheinlichkeit von Leckagen und Rohrbrüchen. Aus diesem Grund kann in Zukunft der Nutzen einer solchen Investition steigen.

6. Zusammenfassung

Ziel war es, das Leitungsnetz der Bewässerungsanlage ausfindig zu machen und zu kartografieren, da dessen Verlauf dem Betrieb nicht in Gänze bekannt ist. Außerdem sollen betriebswirtschaftliche Rechnungen zur Bewässerungsanlage durchgeführt werden, um Optimierungspotenziale aufzuzeigen. In dieser Arbeit wurde der gesamte Verlauf des Leitungsnetzes dargestellt. Dabei war dieser besonders in Gebieten ohne Orientierungspunkt bislang unklar. Dazu wurden Karten vom Bewässerungsnetz digitalisiert und georeferenziert. Dafür wurde dem Betrieb über eine App die Möglichkeit gegeben, sich den eigenen Standort auf den georeferenzierten Karten anzeigen zu lassen. Außerdem wurden Empfehlungen für die Platzierung zusätzlicher Absperrschieber gegeben. Dabei wurde außerdem der Verlauf einer langjährig stillgelegten Leitung gegeben. Diese wurde fast ausschließlich zur Unterteilung langer Leitungsabschnitte gegeben, um ortsspezifischer auf potenzielle Rohrbrüche reagieren zu können.

Durch verschiedene Rechnungen zum Management der Anlage wurde die theoretische Leistungsfähigkeit von 2.130 ha je Jahr aufgezeigt und die notwendigen Wassermengen für die einzelnen Kulturen für eine optimale Beregnung nach der jeweiligen Beregnungsstrategie. Besonders beim Ackergras lag dieser mit 300 l/m² und ha weit über der berechneten Menge mit 90 l/m². Der Mehrerlös der Kulturen war beim Mais mit über in dem betrachteten Jahr am höchsten. Dies ist hauptsächlich auf die ausbleibenden Niederschläge in der Jugendentwicklung des Zweitfruchtmais zurückzuführen und der dadurch geringen Ertragserwartung bei diesem in der unberechneten Variante. Der Erlös nach Abzug der Kosten lag hier bei knapp 210€/ ha. Beim Ackergras lag dieser Wert bei ca. -133€/ ha. Der durchschnittlichen beregnungskostenfreien Leistungen über alle Kulturen hinweg lag in dem betrachteten Jahr bei 96,56 €. Die laufenden Kosten sind mit ca. 2 €/ mm als niedrig einzustufen. Eine zusätzliche Pumpe mit zwei Beregnungstrommeln haben Kosten von 3,49 € /mm Beregnung ergeben. Dabei lag die Kosten- Leistungsrechnung bei 6,59 €/ ha. Beim Düsenwagen lag die Kosten- Leistungsrechnung -13,74 € / ha. Die Leistungs- Kostendifferenz der Sektorsteuerungen lag damit auf der Gesamtfläche bei -3,89 €/ ha bei Betrachtung der Feldgrenzeinhaltung und Landschaftselementausparung. Eine einzelne Sektorsteuerung für besonders unförmige Schläge kam hier auf einen Mehrwert von 1,46 €/ ha. Bei der Trommel mit Maschineneinzug lag die Kosten- Leistungs- Rechnung bei 14,29 €/ ha. Für die Wirtschaftlichkeit einer Wasseruhr müssen jährlich 2706 m³ Wasserverlust vermieden werden.

7. Fazit

Durch diese Masterarbeit ist es dem Betrieb nun möglich, über die App „QField“ sich den eigenen Standort auf den Leitungskarten anzeigen zu lassen. Der Betrieb weiß dadurch, wo welche Leitung verläuft und die Suche nach einem Leck im Falle eines Rohrbruches wird erleichtert. Außerdem kann so bei Bauarbeiten ein Beschädigen der Leitung vermieden werden, da nun bekannte ist, wo die jeweilige Leitung verläuft. Die betriebswirtschaftlichen Rechnungen zeigen auf, dass nicht bei allen hier aufgeführten Investitionen der Nutzen die Kosten übersteigt. Die Entscheidung, welche der hier aufgeführten Investitionen sinnvoll ist, kann der Betrieb vor allem durch die hier errechneten Ergebnisse auswählen. Sich ändernde Faktoren wie verfügbare Arbeitszeit können dabei zu anderen Ergebnissen der Wirtschaftlichkeit führen. Auch können politische Rahmenbedingungen dafür sorgen, dass gewisse Investitionen getätigt werden, welche sich in dieser Arbeit nicht als wirtschaftlich vorteilhaft darstellen. Das Optimierungspotenzial einer mobilen Bewässerungsanlage ist wie aus dieser Arbeit ersichtlich jedoch begrenzt. Die bedeutendste Entscheidung über die Kosten ist wann und in welchem Umfang eine Beregnung notwendig ist. Dafür kann das hier genannte Programm des Deutschen Wetterdienstes verwendet werden. Bei der Beregnung des Ackergrases ist es empfehlenswert zu prüfen, ob die Möglichkeit von Futterzukauf aus der Umgebung besteht, um die Kosten der Beregnung für diese Kultur zu senken. Auch kann in Zukunft über den Einsatz einer Kreisberegnungsmaschine bei sich dafür eignenden Flächen in Erwägung gezogen und hierfür Kalkulationen erstellt werden.

Literaturverzeichnis

Achilles, W., Anter, J., Belau, T., & Blankenburg, J. (2018). *Faustzahlen für die Landwirtschaft* (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Hrsg.; 15. Auflage). Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL).

ALB Bayern e.V. (Hrsg.). (2020). *Boden und Verteiltechnik bezogene Kennzahlen*. Bewässerungsforum Bayern. <https://www.alb-bayern.de/media/files/0004/bb.bef3-kennzahlenbodentechnik-20200703.pdf/PDFBrowserview>

Bauernzeitung Märkte und Preise ein Service der Agrarmarkt Informations- Gesellschaft mbH. (2023). [von Agrarmarkt Informations- Gesellschaft mbH]. 38/2023, 63.

Beinlich. (2023). *Angebot Düsenwagen Beinlich*. Stand 25.08.2023

Belau, T., Fröba, N., & Achilles, W. (2013). *Freilandbewässerung: Betriebs- und arbeitswirtschaftliche Kalkulationen* (KTBL, Hrsg.; 1. Ausg.). Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft.

BGR Geoportal—Geoviewer (o. J.). Abgerufen 16. August 2023, von <https://geoportal.bgr.de/mapapps/resources/apps/geoportal/index.html?lang=de#/geoviewer?metadatald=0f71e68f-8c83-4371-8842-1a26abed1854>

Bundesministerium der Finanzen. (2023, November 2). *AfA-Tabelle für den Wirtschaftszweig „Landwirtschaft und Tierzucht“—Bundesfinanzministerium—Themen*. Bundesministerium der Finanzen.

https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weitere_Steuerthemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/AfA-Tabelle_Landwirtschaft-und-Tierzucht.html

Deutscher Wetterdienst. (2023). *Agrowetter Berechnung* [Berechnungsplanung]. <https://kunden.dwd.de/agrobereg/>

Deutscher Wetterdienst-Climate Data Center. (2023). www.cdc.dwd.de. <https://cdc.dwd.de/portal/202209231028/mapview>

Die Wasserrahmenrichtlinie—Gewässer in Deutschland 2021. (2022, Oktober 10). [Text]. Umweltbundesamt; Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/wasserrahmenrichtlinie/die-wasserrahmenrichtlinie-gewaesser-in-deutschland>

Dr. Gutzler, C., Dr. Helming, K., & Leibntz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V. (Hrsg.). (2023). *Folgenabschätzung von Szenarien der landwirtschaftlichen Produktion in Brandenburg 2025: Feldberegnung und Energiemaisanbau*. DBM Druckhaus Berlin-Mitte GmbH.

Düsenwagen – Beinlich Beregnung. (2023, Juli 6). Beinlich Everrain. Evergreen.
<https://www.beinlich-beregnung.de/produkte/duesenwagen/>

DWA, D. V. für W. (Hrsg.). (2019). Merkblatt DWA-M 590: Grundsätze und Richtwerte zur Beurteilung von Anträgen zur Entnahme von Wasser für die Bewässerung. In *DWA-Regelwerk: Bd. M 590*. DWA. https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00052299

Fasterholt. (2023). *Angebot Beregnungstrommel mit Maschineneinzug Fasterholt*. Stand 11.10.2023

Fricke, E. (2013, Juni 27). *Einstieg in die Bewässerung – was ist zu beachten?* Landwirtschaftskammer Niedersachsen. https://www.lwk-niedersachsen.de/lwk/news/39063_Einstieg_in_die_Bewaessering_%E2%80%93_was_ist_zu_beachten

Fricke, E. (2013b, Juni 27). *Wirtschaftlichkeit der Feldbewässerung*. DLG-Fachtagung Bewässerung, Görlitz. https://www.landwirtschaft.sachsen.de/download/05_Wirtschaftlichkeit_Feldbewaessering_Fricke.pdf

Geologischer Dienst NRW (Hrsg.). (2008). *Die bodenartenspezifischen Kennwerte der KA5*. https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Netzwerke/AGBoden/Downloads/KA5_bodenspezKennwerte.pdf?__blob=publicationFile&v=2

Hydro- Air international Irrigation Systems GmbH. (2023). *Angebot Durchflussmesser Hydro-Air*. Stand 20.10.2023

KFW-Konditionen-Anzeiger. (2023, August 25). <https://www.kfw-formularsammlung.de/KonditionenanzeigerINet/KonditionenAnzeiger>

Köller, K., & Hensel, O. (Hrsg.). (2019). *Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion*. Verlag Eugen Ulmer.

Kreß, O., Hageneder, F. M., & Beck, M. (2014). *Optimierung der Bewässerungssteuerung für den Freilandgemüsebau* (Abschlussbericht KL/12/03; S. 106). https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/gartenbau/dateien/2015-g-2-bew%C3%A4sserung_abschlussbericht_lang.pdf

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, & Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Hrsg.). (2012). *Management der Ressource Wasser: KTBL-Tagung vom 21. bis 22. März 2012 in Hannover*. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft.

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (Hrsg.). (2021). *Potenzielle Beregnungsbedürftigkeit von Grünland im Landkreis Gifhorn*.

https://www.lbeg.niedersachsen.de/download/175685/Beregnungsbedarfsprognose_Gruenland_und_Gemuese_LK_Vechta_und_Oldenburg.pdf

Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern. (2021). *Aktualisierung des Bewirtschaftungsplans nach § 83 WHG bzw. Artikel 13 der Richtlinie 2000/60/EG für die Flussgebietseinheit Warnow/Peene für den Zeitraum 2022—2027*.pdf (S. 179). https://www.wrrl-mv.de/static/WRRL/Dateien/Dokumente/WRRL/BMU/bwz3/WarnowPeene/WP_BZR3_BP_Text_red_Anderungen_2023.pdf

Landeshauptstadt Schwerin - Fachgruppe Wasser- und Bodenschutz. (2023, Juli 10). *Erklärung zur Festsetzung des Wasserentnahmeentgelts abgeben—Landeshauptstadt Schwerin*. <https://www.schwerin.de/politik-verwaltung/dienstleistungen/verwaltungsleistungen/Erklaerung-zur-Festsetzung-des-Wasserentnahmeentgelts-abgeben/>

Michel, R., & Fricke, E. (Hrsg.). (2014). *Bewässerung in der Landwirtschaft*. AgriMedia.

Optimierung der Stickstoffdüngung im Freilandgemüsebau. (2021). [Endbericht]. Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau. https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Projektfoerderung/Modellvorhaben/Endbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=7

Raindancer. (2023). *Angebot Sektorsteuerung Raindancer*. Stand 27.07.2023

Scheibe, D. (2002). *Einsatz des Düsenwagens für eine umweltverträgliche und wettbewerbsfähige Beregnung*. Justus-Liebig-Universität Giessen.

Schimmelpfennig, S., Anter, J., Heidecke, C., Lange, S., Röttcher, K., & Bittner, F. (2017). *Bewässerung in der Landwirtschaft* (Thünen Working Paper 85; S. 161). Thünen-Institut. https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn059620.pdf

Sourel, H., & Scheibe, D. (1999). Beregnungsmaschinen und Düsenwagen im Kostenvergleich. *LANDTECHNIK*, 54(2), Article 2. <https://doi.org/10.15150/lt.1999.2293>

Trenkel, H. E. (1999). *Kostenanalyse und Erfolgsfaktoren im Betriebszweig Zuckerrübenanbau*. Buched. AgriMedia. <https://books.google.de/books?id=ka25AgAACAAJ>

Wasser- und Bodenverband Jarmen. (2023, Juni 15). [Persönliche Kommunikation].

Wetter und Klima—Deutscher Wetterdienst—Übersicht—Erläuterungen zu Verdunstungsverlusten bei Beregnung. (2022). https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/landwirtschaft/dokumentationen/allgemein/basis_beregnungsverlust_doku.html

Anhang

mit folgender Aufteilung in Luft- und nutzbare Feldkapazität für:
 grundwasserfreie Böden: LK = LK + eGp
 grundwasserbeeinflusste Böden: LK = LK

nFK = nFK eGp FK = FK eGp
 nFK = nFK FK = FK

Bodenarten Kurzzeichen	LK pt1+2	LK pt3	LK pt4+5	nFK pt1+2	nFK pt3	nFK pt4+5	eGp pt1+2	eGp pt3	eGp pt4+5	FK pt1+2	FK pt3	FK pt4+5	TOT pt1+2	TOT pt3	TOT pt4+5
Ss	25	23	20	20	16	14	11	9	7	25	20	17	5	4	3
SI2	23	18	13	20	18	17	10	9	8	28	25	23	8	7	6
SI3	18	15	10	22	18	17	8	6	5	34	27	25	12	9	8
SI4	18	12	8	22	18	15	7	6	5	36	30	26	14	12	11
SIu	14	10	7	23	21	19	7	6	5	38	33	30	15	12	11
SI2	24	20	15	18	16	13	8	7	6	26	22	18	8	6	5
SI3	18	14	9	18	15	12	6	5	4	35	30	26	17	15	14
Su2	24	21	15	20	18	17	12	10	9	26	23	21	6	5	4
Su3	17	14	10	25	21	20	13	11	8	35	29	26	10	8	6
Su4	14	11	8	27	23	21	10	9	7	39	32	28	12	9	7
LS2	13	9	6	21	16	14	6	5	3	40	34	31	19	18	17
LS3	15	9	6	21	16	14	5	4	2	39	33	30	18	17	16
LS4	15	11	7	20	16	13	5	4	3	39	32	28	19	16	15
LI2	11	7	5	18	14	11	3	2	2	42	36	32	24	22	21
LI3	8	5	3	17	12	10	2	2	2	45	39	35	28	27	25
LI5	10	6	5	17	14	11	3	2	2	44	37	31	27	23	20
LU	12	7	4	21	17	15	4	3	2	41	36	33	20	19	18
Uu	10	7	3	30	26	23	8	6	3	43	38	35	13	12	12
Uls	13	8	5	24	22	21	7	6	5	39	35	33	15	13	12
Us	11	9	4	28	25	22	9	8	4	41	35	32	13	10	10
UI2	10	6	3	28	26	23	8	6	3	40	37	35	12	11	12
UI3	11	6	3	26	25	23	6	4	2	39	37	35	13	12	12
UI4	12	7	3	23	21	19	4	3	2	39	37	35	16	16	16
TI	3	3	2	15	13	12	2	1	0	51	43	35	36	30	23
TI	5	4	3	15	13	11	3	1	0	48	41	35	33	28	24
Tu2	5	4	3	16	12	10	2	1	0	47	42	36	31	30	26
Tu3	8	6	3	17	13	10	2	1	0	45	38	35	28	25	25
Tu4	10	6	3	19	17	16	3	2	1	41	37	35	22	20	19
Ts2	5	4	3	16	13	12	2	1	0	47	39	34	31	26	22
Ts3	7	6	5	16	13	11	3	2	1	45	37	32	29	24	21
Ts4	13	10	6	17	14	11	4	3	2	43	32	30	26	18	19
Sande															
fS, fSms, fSgs	24	22	16	20	18	15	10	9	7	26	23	19	6	5	4
mS, mSfs, mSgs	25	23	19	20	15	12	11	9	7	25	19	15	5	4	3
gS	24	25	22	22	13	11	14	8	7	26	16	13	4	3	2

Anhang 1: Mittlere nFK-Wert der einzelnen Bodenarten nach Zustandsstufe und Lagerungsdichte

Quelle: Geologischer Dienst NRW, 2008

Der Anhang 1 war Grundlage für die Berechnung der empfohlenen Bewässerungsmenge im Kapitel 3.3. Die verwendeten Daten sind aus Zeile SI2 und Spalte pt 4+5. Pt gibt hierbei die Lagerungsdichte des Bodens an.

Beregnungsempfehlung für Standard (Mais) mit Mais, Körner

		nutzbares Bodenwasser			Wasserverluste			Wassergewinne		
15.04.2023 - 18.09.2023				35.01	5.43	309.59	194.5	85.5		
Datum	Bereg. Empfehlung in mm	realer Wurzelraum in %NFK		maximaler Wurzelraum in mm	Stickerwasser in mm	Verdunstung in mm	Niederschlag in mm	Beregnungsmenge in mm	aufs Feld ausgebrachtes Wasser in m³	
		oben	unten							
Fr 22.09.2023	0.0	80.94	50.16	89.15	0.0	0.68	4.9	0.0	0.0	
Do 21.09.2023	0.0	74.57	50.32	84.93	0.0	0.88	3.0	0.0	0.0	
Mi 20.09.2023	0.0	71.22	50.55	82.81	0.0	2.08	0.0	0.0	0.0	
Di 19.09.2023	0.0	73.68	51.15	84.89	0.0	3.1	0.6	0.0	0.0	
Mo 18.09.2023	0.0	76.52	51.99	87.39	0.0	2.2	0.3	0.0	0.0	
So 17.09.2023	0.0	78.73	52.57	89.29	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	
Sa 16.09.2023	0.0	81.28	53.12	91.39	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	
Fr 15.09.2023	0.0	84.21	53.71	93.79	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	
Do 14.09.2023	0.0	86.79	54.22	95.89	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0	
Mi 13.09.2023	0.0	88.9	54.81	97.59	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
Di 12.09.2023	0.0	90.14	54.84	98.59	0.0	1.8	20.0	0.0	0.0	
Mo 11.09.2023	0.0	82.97	55.24	90.39	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	
So 10.09.2023	0.0	65.44	56.15	82.69	0.0	2.8	0.0	0.0	0.0	
Sa 09.09.2023	0.0	68.5	57.22	85.49	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	
Fr 08.09.2023	0.0	72.04	58.38	88.69	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0	
Do 07.09.2023	0.0	75.75	59.53	91.99	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	
Mi 06.09.2023	0.0	79.16	60.53	94.99	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0	
Di 05.09.2023	0.0	82.97	61.57	98.29	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	
Mo 04.09.2023	0.0	86.58	62.52	101.39	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	
So 03.09.2023	0.0	90.12	63.39	104.39	0.0	2.4	0.0	28.5	300.0	
Sa 02.09.2023	0.0	51.06	64.07	78.29	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0	
Fr 01.09.2023	0.0	53.48	65.91	81.19	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	
Do 31.08.2023	0.0	55.6	67.47	83.69	0.0	2.2	0.0	0.0	0.0	
Mi 30.08.2023	0.0	57.49	68.82	85.89	0.0	1.7	2.8	0.0	0.0	
Di 29.08.2023	0.0	54.84	69.85	84.79	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	
Mo 28.08.2023	0.0	55.9	70.7	86.09	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	
So 27.08.2023	0.0	57.55	71.99	88.09	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	
Sa 26.08.2023	0.0	59.05	73.14	89.89	0.0	2.8	0.1	0.0	0.0	
Fr 25.08.2023	0.0	61.26	74.9	92.59	0.0	2.2	0.7	0.0	0.0	
Do 24.08.2023	0.0	62.1	76.26	94.09	0.0	3.2	0.8	0.0	0.0	
Mi 23.08.2023	0.0	63.65	78.24	96.49	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	
Di 22.08.2023	0.0	66.28	80.17	99.59	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	
Mo 21.08.2023	0.0	68.86	82.0	102.99	0.0	3.5	0.0	0.0	0.0	
So 20.08.2023	0.0	71.92	84.09	106.09	0.0	3.7	0.0	0.0	0.0	

Datum: 18.09.2023 13:07:02

Seite: 1

		nutzbares Bodenwasser			Wasserverluste			Wassergewinne		
15.04.2023 - 18.09.2023				35.01	5.43	309.59	194.5	85.5		
Datum	Bereg. Empfehlung in mm	realer Wurzelraum in %NFK		maximaler Wurzelraum in mm	Stickerwasser in mm	Verdunstung in mm	Niederschlag in mm	Beregnungsmenge in mm	aufs Feld ausgebrachtes Wasser in m³	
		oben	unten							
Sa 19.08.2023	0.0	75.2	86.25	109.79	0.0	4.1	0.0	0.0	0.0	
Fr 18.08.2023	0.0	78.9	88.58	113.89	0.0	3.6	0.0	0.0	0.0	
Do 17.08.2023	0.0	82.19	90.58	117.49	0.0	1.8	0.6	0.0	0.0	
Mi 16.08.2023	0.0	82.97	91.57	118.69	0.0	3.7	0.0	0.0	0.0	
Di 15.08.2023	0.0	86.4	93.58	122.39	0.0	3.7	0.3	0.0	0.0	
Mo 14.08.2023	0.0	89.44	95.54	125.79	0.0	3.9	0.0	0.0	0.0	
So 13.08.2023	0.0	93.14	97.58	129.69	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	
Sa 12.08.2023	0.0	96.11	99.16	132.79	0.21	2.8	0.0	0.0	0.0	
Fr 11.08.2023	0.0	98.83	100.87	135.8	0.8	2.8	0.0	0.0	0.0	
Do 10.08.2023	0.0	102.11	102.6	139.2	1.36	2.2	0.3	0.0	0.0	
Mi 09.08.2023	0.0	106.16	103.34	142.46	1.89	2.6	3.2	0.0	0.0	
Di 08.08.2023	0.0	108.86	102.24	143.54	1.3	2.9	7.3	0.0	0.0	
Mo 07.08.2023	0.0	107.57	98.98	140.45	0.06	2.8	3.6	0.0	0.0	
So 06.08.2023	0.0	110.91	94.55	139.71	0.0	1.6	14.9	0.0	0.0	
Sa 05.08.2023	0.0	97.63	88.27	126.41	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	
Fr 04.08.2023	0.0	101.55	89.05	129.61	0.0	3.36	0.0	0.0	0.0	
Do 03.08.2023	0.0	107.98	87.57	132.97	0.0	3.0	6.9	0.0	0.0	
Mi 02.08.2023	0.0	107.36	82.45	129.07	0.0	2.4	7.5	0.0	0.0	
Di 01.08.2023	0.0	104.59	77.72	123.97	0.0	2.64	5.1	0.0	0.0	
Mo 31.07.2023	0.0	104.33	74.36	121.51	0.0	1.8	20.9	0.0	0.0	
So 30.07.2023	0.0	79.24	71.37	102.41	0.0	3.72	1.6	0.0	0.0	
Sa 29.07.2023	0.0	80.84	72.88	104.53	0.0	3.12	1.1	0.0	0.0	
Fr 28.07.2023	0.0	82.53	74.17	106.55	0.0	3.24	0.0	0.0	0.0	
Do 27.07.2023	0.0	85.97	75.49	109.79	0.0	3.0	2.1	0.0	0.0	
Mi 26.07.2023	0.0	86.1	76.68	110.69	0.0	3.6	2.2	0.0	0.0	
Di 25.07.2023	0.0	86.71	78.14	112.09	0.0	3.84	0.1	0.0	0.0	
Mo 24.07.2023	0.0	90.64	79.71	115.83	0.0	3.24	3.7	0.0	0.0	
So 23.07.2023	0.0	88.67	80.99	115.37	0.0	2.16	4.2	0.0	0.0	
Sa 22.07.2023	0.0	84.78	81.91	113.33	0.0	3.36	6.0	0.0	0.0	
Fr 21.07.2023	0.0	94.84	56.11	110.69	0.0	3.12	3.4	0.0	0.0	
Do 20.07.2023	0.0	93.89	56.37	110.41	0.0	2.79	0.1	0.0	0.0	
Mi 19.07.2023	0.0	99.51	57.34	113.1	0.0	1.71	2.6	0.0	0.0	
Di 18.07.2023	0.0	98.47	56.2	112.21	0.0	3.6	0.2	0.0	0.0	
Mo 17.07.2023	0.0	109.04	53.96	115.61	0.0	3.33	0.3	28.5	300.0	
So 16.07.2023	0.0	94.75	45.83	90.14	0.0	4.21	0.0	0.0	0.0	
Sa 15.07.2023	0.0	62.72	48.18	94.35	0.0	4.86	6.1	0.0	0.0	

Datum: 18.09.2023 13:07:02

Seite: 2

15.04.2023 - 18.09.2023		nutzbares Bodenwasser			Wasserverluste			Wassergewinne		
Datum	Bereg. Empfehlung in mm	realer Wurzelraum in %FK		35.01	5.43	309.53	154.5	85.5	auf's Feld ausgebrachtes Wasser in m³	
		oben	unten	maximaler Wurzelraum in mm	Sicherwasser in mm	Verdunstung in mm	Niederschlag in mm	Beregnungsmenge in mm		
Fr 14.07.2023	0.0	57.34	50.52	93.11	0.0	3.6	0.0	0.0	0.0	
Do 13.07.2023	0.0	63.92	52.76	96.71	0.0	3.06	2.4	0.0	0.0	
Mi 12.07.2023	0.0	63.78	54.52	97.37	0.0	3.96	0.8	0.0	0.0	
Di 11.07.2023	0.0	69.17	56.87	100.53	0.0	4.77	4.5	0.0	0.0	
Mo 10.07.2023	0.0	67.21	59.49	100.8	0.0	2.88	3.7	0.0	0.0	
So 09.07.2023	0.0	63.34	61.36	99.96	0.0	5.04	0.0	0.0	0.0	
Sa 08.07.2023	0.0	72.13	64.92	105.02	0.0	4.77	0.0	0.0	0.0	
Fr 07.07.2023	0.0	80.76	67.98	109.79	0.0	4.32	0.0	0.0	0.0	
Do 06.07.2023	0.0	88.81	70.51	114.11	0.0	3.51	0.0	0.0	0.0	
Mi 05.07.2023	0.0	95.49	72.44	117.62	0.0	3.42	5.3	0.0	0.0	
Di 04.07.2023	0.0	90.3	73.03	115.74	0.0	3.33	1.9	0.0	0.0	
Mo 03.07.2023	0.0	91.91	74.91	117.17	0.0	2.88	0.9	0.0	0.0	
So 02.07.2023	0.0	95.1	76.58	119.15	0.0	4.05	2.2	0.0	0.0	
Sa 01.07.2023	0.0	98.88	77.33	121.0	0.0	1.62	5.1	0.0	0.0	
Fr 30.06.2023	0.0	90.52	77.17	117.52	0.0	2.43	3.0	0.0	0.0	
Do 29.06.2023	0.0	67.6	78.69	116.95	0.0	2.43	1.4	0.0	0.0	
Mi 28.06.2023	0.0	88.48	80.34	117.98	0.0	4.41	0.0	0.0	0.0	
Di 27.06.2023	0.0	96.34	83.28	122.39	0.0	3.6	0.0	0.0	0.0	
Mo 26.06.2023	0.0	104.49	83.96	125.99	0.0	4.41	5.3	0.0	0.0	
So 25.06.2023	0.0	106.86	79.41	125.1	0.0	3.96	0.0	28.9	300.0	
Sa 24.06.2023	0.0	52.73	73.39	100.56	0.0	4.32	0.0	0.0	0.0	
Fr 23.06.2023	0.0	58.29	78.42	104.88	0.0	2.16	0.2	0.0	0.0	
Do 22.06.2023	0.0	60.62	80.89	106.84	0.0	4.05	3.4	0.0	0.0	
Mi 21.06.2023	0.0	57.69	85.42	107.49	0.0	3.87	0.0	0.0	0.0	
Di 20.06.2023	0.0	12.81	0.0	111.36	0.0	1.02	1.3	0.0	0.0	
Mo 19.06.2023	0.0	8.75	0.0	111.09	0.0	0.36	0.0	0.0	0.0	
So 18.06.2023	0.0	14.04	0.0	111.45	0.0	0.86	0.0	0.0	0.0	
Sa 17.06.2023	0.0	26.67	0.0	112.31	0.0	1.36	1.6	0.0	0.0	
Fr 16.06.2023	0.0	23.21	0.0	112.07	0.0	0.69	0.8	0.0	0.0	
Do 15.06.2023	0.0	21.64	0.0	111.96	0.0	1.43	2.9	0.0	0.0	
Mi 14.06.2023	0.0	0.0	0.0	110.49	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Di 13.06.2023	0.0	0.0	0.0	110.49	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Mo 12.06.2023	0.0	0.0	0.0	110.49	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
So 11.06.2023	0.0	0.0	0.0	110.49	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Sa 10.06.2023	0.0	0.0	0.0	110.49	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Fr 09.06.2023	0.0	0.0	0.0	110.49	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

Datum: 18.09.2023 13:07:02

Seite: 3

15.04.2023 - 18.09.2023		nutzbares Bodenwasser			Wasserverluste			Wassergewinne		
Datum	Bereg. Empfehlung in mm	realer Wurzelraum in %FK		35.01	5.43	309.53	154.5	85.5	auf's Feld ausgebrachtes Wasser in m³	
		oben	unten	maximaler Wurzelraum in mm	Sicherwasser in mm	Verdunstung in mm	Niederschlag in mm	Beregnungsmenge in mm		
Do 06.06.2023	0.0	0.0	0.0	110.49	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Mi 07.06.2023	0.0	0.0	0.0	110.49	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Di 06.06.2023	0.0	0.0	0.0	110.49	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Mo 05.06.2023	0.0	0.0	0.0	110.49	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
So 04.06.2023	0.0	0.0	0.0	110.49	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Sa 03.06.2023	0.0	0.0	0.01	110.49	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Fr 02.06.2023	0.0	0.01	0.02	110.49	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Do 01.06.2023	0.0	0.02	0.03	110.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Mi 31.05.2023	0.0	0.04	0.04	110.5	0.0	0.01	0.0	0.0	0.0	
Di 30.05.2023	0.0	0.11	0.04	110.5	0.0	0.01	0.0	0.0	0.0	
Mo 29.05.2023	0.0	0.24	0.05	110.51	0.0	0.02	0.0	0.0	0.0	
So 28.05.2023	0.0	0.48	0.05	110.53	0.0	0.03	0.0	0.0	0.0	
Sa 27.05.2023	0.0	0.91	0.05	110.56	0.0	0.05	0.0	0.0	0.0	
Fr 26.05.2023	0.0	1.7	0.05	110.61	0.0	0.08	0.0	0.0	0.0	
Do 25.05.2023	0.0	2.93	0.05	110.7	0.0	0.13	0.0	0.0	0.0	
Mi 24.05.2023	0.0	4.8	0.05	110.82	0.0	0.17	0.0	0.0	0.0	
Di 23.05.2023	0.0	7.27	0.05	110.99	0.0	0.21	0.0	0.0	0.0	
Mo 22.05.2023	0.0	0.02	0.05	110.5	0.0	0.01	0.0	0.0	0.0	
So 21.05.2023	0.0	0.05	0.1	110.5	0.0	0.01	0.0	0.0	0.0	
Sa 20.05.2023	0.0	0.09	0.18	110.51	0.0	0.01	0.0	0.0	0.0	
Fr 19.05.2023	0.0	0.13	0.28	110.52	0.0	0.02	0.0	0.0	0.0	
Do 18.05.2023	0.0	0.22	0.45	110.54	0.0	0.03	0.0	0.0	0.0	
Mi 17.05.2023	0.0	0.35	0.7	110.56	0.0	0.04	0.0	0.0	0.0	
Di 16.05.2023	0.0	0.56	1.12	110.61	0.0	0.06	0.0	0.0	0.0	
Mo 15.05.2023	0.0	0.86	1.71	110.67	0.0	0.12	0.0	0.0	0.0	
So 14.05.2023	0.0	1.44	2.87	110.79	0.0	0.21	0.0	0.0	0.0	
Sa 13.05.2023	0.0	2.45	4.89	110.99	0.0	0.44	0.0	0.0	0.0	
Fr 12.05.2023	0.0	4.59	9.17	111.43	0.0	0.91	0.0	0.0	0.0	
Do 11.05.2023	0.0	9.18	17.93	112.34	0.0	1.82	0.0	0.0	0.0	
Mi 10.05.2023	0.0	18.42	31.1	113.86	0.0	1.72	0.0	0.0	0.0	
Di 09.05.2023	0.0	31.25	43.57	115.58	0.0	1.84	0.0	0.0	0.0	
Mo 08.05.2023	0.0	47.69	54.18	117.42	0.0	1.56	0.0	0.0	0.0	
So 07.05.2023	0.0	63.26	61.55	118.98	0.0	1.32	0.0	0.0	0.0	
Sa 06.05.2023	0.0	77.4	66.82	120.3	0.0	0.44	0.4	0.0	0.0	
Fr 05.05.2023	0.0	76.32	68.49	120.34	0.0	1.0	2.2	0.0	0.0	
Do 04.05.2023	0.0	54.92	72.24	119.14	0.0	1.08	0.0	0.0	0.0	

Datum: 18.09.2023 13:07:02

Seite: 4

Anhang 2: Auswertung der Bewässerungsempfehlung des Beratungsprogrammes Agrowetter für Mais am Standort Demmin

Bodenart	Konstante Infiltrationsrate / mm/Std.
Sand	>30
Sandiger Lehm	20 - 30
Lehm	10 - 20
Tonartiger Lehm	5 - 10
Ton	1 - 5

Anhang 3: Infiltrationsraten der Böden

Quelle: ALB Bayern e.V., 2020

Eidesstattliche Erklärung

Ich, David Nitzow, erkläre hiermit eidesstattlich, dass ich die vorliegende Master-Thesis mit dem Thema „Optimierung der Bewässerungsanlage von der Wolkower Milchhof KG“ 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.

Ort, Datum

Griffith, 13.11.2023

Unterschrift: