

Technische Universität München

**Wissenschaftszentrum Weihenstephan
für Ernährung, Landnutzung und Umwelt**

Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik

Masterarbeit

**Bewässerung auf der Osterhofener Platte:
Analyse der IST-Situation und Optimierungsmöglichkeiten
des Bewässerungsmanagements unter Berücksichtigung
regionaler und gesellschaftlicher Gesichtspunkte**

Bearbeiter: Hubert Vandieken, Agrarmanagement, 6. Semester

Prüfer: Prof. Heinz Bernhardt

Betreuer: Prof. Heinz Bernhardt

Ausgabetermin: 12.11.2016

Abgabetermin: 03.05.2017

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	II
Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	VII
Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole	VIII
1 Einleitung und Problemstellung	1
2 Stand des Wissens.....	2
2.1 Bedeutung der Bewässerung	2
2.1.1 Beregnungsfläche und Wasserentnahme in Deutschland	2
2.1.2 Beregnungsbedürftigkeit und Beregnungswürdigkeit.....	3
2.2 Der Boden.....	5
2.2.1 Der Boden-Wasser Haushalt.....	5
2.2.2 Möglichkeiten zur Steigerung der Wassernutzungseffizienz	8
2.2.2.1 Humuswirtschaft.....	8
2.2.2.2 Bodenbearbeitung.....	9
2.3 Pflanzen.....	10
2.3.1 Allgemeine Einordnung ausgewählter Kulturen	10
2.3.2 Bewässerungsspezifische Einordnung ausgewählter Kulturen	11
2.3.2.1 Kartoffeln.....	12
2.3.2.2 Zwiebeln.....	14
2.3.2.3 Einlegegurken	17
2.3.3 Möglichkeiten zur Steigerung der Wassernutzungseffizienz	18
2.4 Bewässerungsverfahren.....	19
2.4.1 Mobile Beregnungsmaschinen	20
2.4.2 Reihenregner	21
2.4.3 Tropfbewässerung	21
2.5 Verfahren zur Bewässerungssteuerung.....	22
2.5.1 Modelle mit klimatischer Wasserbilanz.....	22
2.5.1.1 FAO Penman-Monteith Methode.....	22

Inhaltsverzeichnis	III
2.5.1.2 Geisenheimer Steuerung	26
2.5.1.3 Boden-Wasser-Modell Weihenstephan	27
2.5.2 Messmethoden.....	29
2.5.2.1 Tensiometer	30
2.5.2.2 Watermark-Sensoren	30
2.5.3 Vergleich verschiedener Verfahren der Bewässerungssteuerung	31
2.6 Organisation der Wasserbereitstellung durch Verbände.....	32
3 Zielstellung.....	34
4 Material und Methoden.....	35
4.1 Überblick über Methodik.....	35
4.1.1 Sekundärforschung	36
4.1.2 Primärforschung im Rahmen von Experteninterviews	36
4.1.2.1 Einordnung und Begründung der Methodenauswahl.....	36
4.1.2.2 Auswahl der Experten	38
4.1.2.3 Erstellung des Gesprächsleitfadens	39
4.1.2.4 Durchführung der Experteninterviews	41
4.1.2.5 Auswertung der Experteninterviews	42
4.2 Darstellung der Osterhofener Platte	42
4.2.1 Geografische Lage.....	42
4.2.2 Boden und Klima.....	43
4.2.3 Anbauverhältnis der Kulturen	45
4.2.4 Entwicklung des Grundwasserstandes und wasserrechtliche Rahmenbedingungen.....	47
4.2.5 Organisation der Landwirte	48
5 Ergebnisse	50
5.1 Aussagen der Landwirte.....	50
5.2 Aussagen der Behörden.....	57
5.3 Aussagen der Beratung.....	60
5.4 Aussagen der Forschung	63
5.5 Externe Vergleichsregionen	68

Inhaltsverzeichnis	IV
5.5.1 Knoblauchsland.....	68
5.5.2 Hessisches Ried	70
6 Diskussion.....	74
6.1 Diskussion Material und Methodik.....	74
6.2 Analyse wesentlicher Bewässerungskulturen auf der Osterhofener Platte	76
6.2.1 Anbaufläche der Bewässerungskulturen	76
6.2.2 Beregnungsbedürftigkeit	77
6.2.3 Höhe des Zusatzwasserbedarfs	78
6.2.4 Pflanzenbauliche Maßnahmen zur Steigerung der Wassernutzungseffizienz ..	81
6.3 Analyse der IST-Situation auf der Osterhofener Platte im Quervergleich zu weiteren Bewässerungsregionen	83
6.3.1 Wasserrechte	84
6.3.2 Bewässerungstechnik	85
6.3.3 Bewässerungssteuerung.....	87
6.3.4 Einordnung der gesellschaftlichen Akzeptanz	91
6.4 Strategien zur Optimierung des Bewässerungsmanagements und Bewertung der Strategien hinsichtlich Sinnhaftigkeit und Umsetzbarkeit in die Praxis	93
6.4.1 Wasserrechte	93
6.4.2 Bewässerungssteuerung.....	94
6.4.3 Gesellschaftliche Akzeptanz.....	95
6.5 Ausblick.....	96
6.5.1 Künftige Entwicklung der Beregnungsfläche	97
6.5.2 Künftige Herausforderungen an das Bewässerungsmanagement	98
7 Zusammenfassung.....	100
8 Summary.....	102
9 Literaturverzeichnis	104
Danksagung	110

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Einflussfaktoren auf den wirtschaftlichen Erfolg der Bewässerung	5
Abb. 2: Beziehung zwischen Wassergehalt und Saugspannung bei unterschiedlichen Bodenarten.....	6
Abb. 3: Das Boden-Wasser-Gleichgewicht in der Wurzelzone.....	8
Abb. 4: Marktfähiger Ertrag an Zwiebeln > 40 mm in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte [Zwiebelversuch 2014]	15
Abb. 5: Ertrag an Zwiebeln > 70 mm in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte [Zwiebelversuch 2014]	16
Abb. 6: Ertrag an Zwiebeln der Sortierung 40-70 mm in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte [Zwiebelversuch 2014]	16
Abb. 7: Ertrag an Zwiebeln < 40 mm in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte [Zwiebelversuch 2014]	16
Abb. 8: Übersicht über Bewässerungssysteme zur landwirtschaftlichen Bewässerung nach DIN 19655	19
Abb. 9: Piktogramm einer mobilen Beregnungsmaschine mit Einzelregner	20
Abb. 10: Piktogramm einer mobilen Beregnungsmaschine mit Düsenwagen	21
Abb. 11: Anteil der Evaporation und Transpiration an der Evapotranspiration während der Vegetation.....	23
Abb. 12: Allgemeine Kc-Kurve während der Vegetationsphase	24
Abb. 13: Typische Kc-Werte für unterschiedliche Pflanzentypen bei vollständiger Pflanzenentwicklung	25
Abb. 14: Boden-Wasser-Modell: Witterungsverlauf und Bewässerungsempfehlung für Zwiebeln am Standort Neusling in 2015	28
Abb. 15: Boden-Wasser-Modell: Klimatische Wasserbilanz und Verlauf der Bodenfeuchte bei Zwiebeln am Standort Neusling für das Jahr 2015.....	29
Abb. 16: Vorgehensweise bei der Erhebung der Daten zur Beantwortung der Forschungsfrage	35
Abb. 17: Vorgehensweise bei der Erstellung der Leitfäden für die Experteninterviews	39
Abb. 18: Geographische Darstellung der Osterhofener Platte	43
Abb. 19: Durchschnittliche nFK der Osterhofener Platte bei nFK-Stufe 60 cm.....	44
Abb. 20: Anbaufläche von Kulturen auf der Osterhofener Platte in 2016	46
Abb. 21: Anbaufläche von potentiellen Beregnungskulturen auf der Osterhofener Platte in 2015 und 2016	46
Abb. 22: Entwicklung des Grundwasserstandes in Oberviehhausen seit 1972	47
Abb. 23: Anbaufläche von Kartoffeln, Zwiebeln, Gurken und Salat auf der Osterhofener Platte in 2015 und 2016	77

Abb. 24: Experteneinschätzung zum Zusatzwasserbedarf für ausgewählte Kulturen auf der Osterhofener Platte für einen heißen und trockenen Sommer	80
Abb. 25: Berechnung des Zusatzwasserbedarfs für ausgewählte Kulturen auf Basis des Boden-Wasser-Modells am Standort Neusling in 2015.....	81
Abb. 28: Boden-Wasser-Modell: Witterungsverlauf und Bewässerungsempfehlung für Zwiebeln am Standort Neusling für das Jahr 2016	89

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Bewässerungsfläche und -betriebe in Deutschland	2
Tab. 2: Wasserentnahme für die Beregnung in Deutschland	3
Tab. 3: Nutzbare Feldkapazität in Abhängigkeit von der Bodenart bei durchschnittlichem Gehalt an organischer Substanz und durchschnittlicher Lagerungsdichte	7
Tab. 4: Vergleich verschiedener Verfahren der Bodenbearbeitung	10
Tab. 5: Betriebe, Anbaufläche und Erträge ausgewählter Bewässerungskulturen für Deutschland in 2015	11
Tab. 6: Durchschnittliche Durchwurzelungstiefe verschiedener Kulturen	11
Tab. 7: Grenzwerte guter Wasserversorgung und maximaler Wasserbedarf an heißen Sommertagen für ausgewählte Kulturen	12
Tab. 8: Ertrag von Kartoffeln in Abhängigkeit von verschiedenen Bewässerungsverfahren ..	14
Tab. 9: Ertrag von Einlegegurken in Abhängigkeit von Bewässerung und Fertigation	18
Tab. 10: Beispielrechnung des Geisenheimer Modells bei Blumenkohl	27
Tab. 11: Berechnung des Zusatzwasserbedarfs für ausgewählte Kulturen auf Basis des Bodenwasser-Modells am Standort Neusling in 2015	29
Tab. 12: Vergleich der Bewässerungssteuerung auf Basis von Sensoren und Modellen mit klimatischer Wasserbilanz	32
Tab. 13: Vor- und Nachteile von Beregnungsverbänden	33
Tab. 14: Aufbau der Leitfäden für die verschiedenen Expertenfelder	40
Tab. 15: Durchschnittliche nFK der Osterhofener Platte bei unterschiedlichen nFK-Stufen ..	43
Tab. 16: Wetterdaten der Wetterstation Neusling	45
Tab. 17: Vorstandschafft der Interessensgemeinschaft Feldberegnung	49

Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole

AELF	Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
BFVF	Bundesfachverband für Feldberegnung
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
cm	Zentimeter
dt	Dezitonne
€	Euro
ETo	Evapotranspiration bei einer Referenzkultur
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
ha	Hektar
hPa	Hektopascal
HSWT	Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
kc	Kulturspezifischer Korrekturfaktor
K ₂ O	Kali
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
LfULG	Landesanstalt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LWG	Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau
m ²	Quadratmeter
MgO	Magnesiumoxid
mm	Millimeter
N	Stickstoff
Nr.	Nummer
nFK	Nutzbare Feldkapazität
P ₂ O ₅	Phosphor
PWP	Permanenter Welkepunkt
USDA	United States Department of Agriculture
WVG	Wasserverbandsgesetz
WHR	Wasserverband Hessisches Ried

1 Einleitung und Problemstellung

„The global demand for water in agriculture will increase over time with increasing population, rising incomes, and changes in dietary preferences” (DE FRAITURE and WICHELNS, 2010). Wasser ist begehrt, auch die Landwirtschaft beansprucht immer größere Mengen. Aktuell nutzt die Landwirtschaft 70 % des Frischwassers und stellt somit weltweit den wichtigsten Wasserverbraucher dar (FAO, 2015). Global werden 20 % der Fläche bewässert, auf welcher 40 % der Nahrungsmittel produziert werden (FAO, 2014). Vor dem Hintergrund einer weltweit steigenden Nachfrage nach Lebensmitteln sowie zunehmenden Anpassungsstrategien an den Klimawandel wird die Bewässerungswirtschaft weiter an Bedeutung gewinnen. Dabei steht diese vor der Herausforderung, die Auswirkungen auf die Umwelt möglichst gering zu halten und gleichzeitig die Flächen- und Ertragsproduktivität zu steigern (MOLDEN et al., 2007, pp. 30). In Ländern wie beispielsweise Australien kann die Bewässerung erhebliche Konsequenzen auf die Umwelt nach sich ziehen. Zudem können die Übernutzung der Grundwasservorkommen sowie die fortschreitende Versalzung direkte Folgen von zu intensiver Bewässerung darstellen (CAMKIN et al., 2016). Gleichzeitig wird auch ein steigender Wasserbedarf von Industrie und Städten den Wettbewerb um das Wasser verschärfen (DE FRAITURE and WICHELNS, 2010). Künftig wird die zentrale Herausforderung für viele Regionen sein, das Wasser nachhaltig zu nutzen, um Wasserkrisen vorzubeugen (DE FRAITURE, 2010).

Konkurrenzen um die Nutzung von Wasser treten nicht nur in ariden Gebieten auf, sondern auch in Deutschland können auf regionaler Ebene Nutzungskonflikte entstehen. Im Jahr 2015 gab es auf der Osterhofener Platte, einer Region in Niederbayern, eine Grundwasserdiskussion um das Trockenfallen von Brunnen. Diesbezüglich stand die Beregnung im Mittelpunkt des öffentlichen Interesses.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird auf Basis von Experteninterviews analysiert, warum eine Debatte um die Beregnungsbetriebe auf der Osterhofener Platte entstanden ist und welchen Einfluss die Beregnung auf den Grundwasserpegel hat. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird aus den Blickwinkeln verschiedener Stakeholder interpretiert, wie das Bewässerungsmanagement der Landwirte auf der Osterhofener Platte durchgeführt wird. Darauf aufbauend werden Strategien abgeleitet, wie das Bewässerungsmanagement aus regionaler sowie gesellschaftlicher Sicht optimiert werden kann. Diese Konzepte werden außerdem auf Umsetzbarkeit in die Praxis evaluiert. Abschließend werden künftige Entwicklungen und Herausforderungen der Bewässerungswirtschaft fokussiert.

2 Stand des Wissens

2.1 Bedeutung der Bewässerung

Bewässerung dient der Absicherung von Erträgen und Qualitäten (MÜLLER, 2016). Nachfolgend wird die flächenmäßige Ausdehnung in Deutschland beschrieben und es werden die Begriffe Beregnungswürdigkeit und Beregnungsbedürftigkeit definiert.

2.1.1 Beregnungsfläche und Wasserentnahme in Deutschland

In Deutschland beregnen 13.700 Betriebe eine Fläche von 365.000 ha (Tab. 1) (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2013). Über die technischen und rechtlichen Voraussetzungen zur Bewässerung verfügen 19.700 Betriebe. Der regionale Schwerpunkt der Bewässerung liegt in Niedersachsen. Weitere bedeutende Beregnungsgebiete sind in Nordrhein-Westfalen, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Rheinland-Pfalz und Bayern.

Tab. 1: Bewässerungsfläche und -betriebe in Deutschland

Bundesland	Möglichkeiten zur Bewässerung		Tatsächliche Bewässerung	
	Betriebe	Fläche [ha]	Betriebe	Fläche [ha]
Baden-Württemberg	3.400	31.000	2.400	15.200
Bayern	3.400	55.600	2.100	16.800
Brandenburg	500	38.100	400	20.900
Hamburg	400	1.500	200	700
Hessen	900	33.400	600	14.300
Mecklenburg-Vorpommern	200	32.400	200	19.000
Niedersachsen	5.300	330.500	3.800	206.900
Nordrhein-Westfalen	2.900	67.500	2.100	26.600
Rheinland-Pfalz	1.100	31.100	800	17.400
Sachsen	300	12.000	300	4.700
Sachsen-Anhalt	300	28.200	200	15.200
Schleswig-Holstein	900	23.200	400	5.300
Thüringen	100	6.100	100	2.400
Deutschland	19.700	691.300	13.700	365.600

Quelle: (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2013)

In Deutschland wird die Entnahme von Grundwasser für Beregnungszwecke nur aus dem ersten Grundwasserstock genehmigt, da die zweite, tiefer gelegene Schicht der Trinkwasserversorgung vorenthalten ist (KREß, 2014, pp. 17) (LFL 2008, pp. 4). Bei der Entnahme des Beregnungswassers wird zwischen Oberflächenwasser, das aus Flüssen/ Seen oder Speichern entnommen wird, und Grundwasser unterschieden (FRICKE, 2015) (Tab. 2). Hierbei stellt die Wasserentnahme aus dem Grundwasser in den meisten Bundesländern die wichtigste Form der Wasserversorgung für die Beregnungsbetriebe dar. Die Wasserentnahme aus Flüssen/ Seen spielt in einigen Bundesländern ebenfalls eine bedeutende Rolle, während die Entnahme aus Speichern in den meisten Bundesländern vernachlässigt werden kann. In Bayern wird das Beregnungswasser überwiegend aus dem Grundwasser entnommen und nur ein kleiner Teil aus Flüssen sowie Seen (FRICKE, 2015).

Tab. 2: Wasserentnahme für die Beregnung in Deutschland

Bundesland	Grundwasser	Flüsse/ Seen	Speicher
	[%]	[%]	[%]
Baden-Württemberg	50	40	10
Bayern	85	15	-
Brandenburg	20	70	10
Hessen	80	20	10
Mecklenburg-Vorpommern	20	80	-
Niedersachsen	90-95	5-10	-
Nordrhein-Westfalen	90	9	1
Rheinland-Pfalz (Gemüseanbau)	15	85	-
Rheinland-Pfalz (Obstanbau)	70	30	-
Sachsen	10	70	20
Sachsen-Anhalt	47	44	9
Schleswig-Holstein	50	42	8
Thüringen	5	55	40

Quelle: (FRICKE, 2015) aus (BUNDESFACHVERBAND FÜR FELDBEREGNUNG, 1995)

2.1.2 Beregnungsbedürftigkeit und Beregnungswürdigkeit

Für die Bewertung von Bewässerungsmaßnahmen muss zwischen den Begriffen Beregnungsbedürftigkeit und Beregnungswürdigkeit differenziert werden (Seis et al., 2016, pp. 135) (Abb. 1). So ist Beregnungsbedürftigkeit gegeben, wenn die Erzeugung von ausreichenden Erträgen und Qualitäten bei bestimmten Kulturarten ohne Beregnung nicht

ermöglicht wird. Bei der Berechnungswürdigkeit wird die ökonomische Komponente der Berechnung betrachtet.

Berechnungsbedürftigkeit kann aufgrund des Standortes, der Klima und Boden berücksichtigt, sowie der Kulturansprüche vorliegen (FRICKE, 2015). Klimatische Faktoren können fehlende Niederschläge, hohe Temperaturen oder negative klimatische Wasserbilanzen darstellen (FRICKE, 2015). Auch die künftige Klimaentwicklung kann eine weitere Ausdehnung der Berechnungsfläche zur Folge haben, da eine Verlagerung des mittleren Jahresniederschlages aus der Hauptvegetationszeit heraus erwartet wird und sich die mittlere Jahrestemperatur erhöht (ANTER et al., 2009) (HACKL et al., 2015). Der Boden gilt als berechnungsbedürftig, wenn keine ausreichende Fähigkeit zur Wasserspeicherung vorliegt (FRICKE, 2015). Insbesondere Sandböden können wenig Wasser speichern, dementsprechend weisen diese nur eine geringe nutzbare Feldkapazität auf (LFL, 2008, pp. 8). Im Herbst wird zur Ernte bei trockenen Bodenverhältnissen eine Bewässerung bei Kartoffeln durchgeführt, um Schalenbeschädigungen zu vermeiden. (SCHOELLKOPF, 2011). Dadurch besteht die Möglichkeit, auch während längerer Trockenperioden zu roden. Die Kultur kann als berechnungsbedürftig beschrieben werden, wenn die Ansprüche an die Wasserversorgung hoch sind und sich Trockenstress negativ auf die Qualität und den Ertrag auswirkt (FRICKE, 2015). Insbesondere viele Gemüsearten reagieren auf Wassermangel deutlich sensibler als klassische landwirtschaftliche Kulturen wie beispielsweise Weizen oder Mais (BELAU et al., 2013, pp. 36). So führt Trockenstress beispielsweise bei Kopfsalat zu Blattnekrosen oder vergilbten Blättern, wodurch die gesamte Ware nicht mehr vermarktet werden kann. Bei Einlegegurken kann Wassermangel nachhaltige Ertrags- und Qualitätseinbußen zur Folge haben, da Früchte und männliche Blüten abgestoßen werden und Fruchtdeformationen auftreten (AELF LANDSHUT et al., 2015, pp. 41). Bei Kartoffeln besteht die Möglichkeit, durch Bewässerung auch in trockenen Jahren eine gleichmäßige Qualität (Mindestgröße, Schalenbeschaffenheit, Form) zu erzeugen (MÜLLER et al., 2016). Somit kann ein Mehrertrag sowie eine Steigerung der Qualität erzielt werden.

Berechnungswürdigkeit bewertet die Wirtschaftlichkeit der Berechnung unter Berücksichtigung von Erzeugerpreisen, Kosten für die Berechnung sowie vertraglichen Verpflichtungen (FRICKE, 2015). Insbesondere die sich ändernden Marktpreise und volatilen Agrarmärkte führen dazu, dass „Prognosen zur Bewässerungswürdigkeit mit großen Unsicherheiten behaftet sein können“ (SEIS et al. 2016, pp. 135). Die jährlich für die Bewässerung anfallenden Kosten liegen je nach eingesetztem Verfahren zwischen 200 und 1.350 €/ha (SOURELL et al., 2010, pp. 189-190). Die Verfahrenskosten für Tropfbewässerung und Rohrberechnung sind hoch, während diese bei mobilen Berechnungsmaschinen auf einem deutlich niedrigeren Niveau liegen. Für die Wasserbereitstellung durch Berechnungsverbände fallen durchschnittliche Kosten von

0,23 ct/m³ an (BELAU et al., 2013, pp. 41). Durch Beregnung erhalten Händler eine bessere Planungssicherheit (MÜLLER et al., 2015). Somit kann der Erzeuger den Händler vertraglich an sich binden und es kann in Jahren mit großen Erntemengen ein höherer Preis bei der Vermarktung erzielt werden. Wenn der wirtschaftliche Erfolg der Beregnung sichergestellt ist, dann trägt Bewässerung entscheidend zur Sicherung des Betriebseinkommens bei (FRICKE and RIEDEL, 2013).

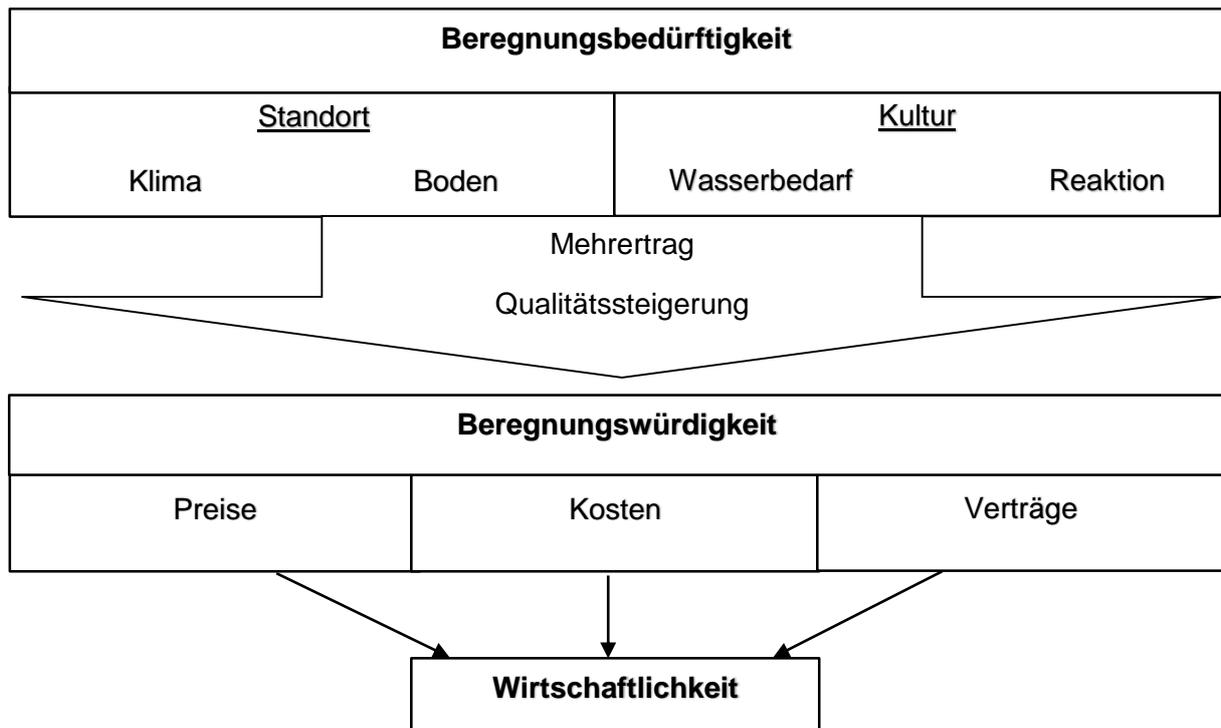


Abb. 1: Einflussfaktoren auf den wirtschaftlichen Erfolg der Bewässerung

Quelle: Eigene Darstellung nach (FRICKE, 2015)

2.2 Der Boden

Für ein optimales Wachstum ist eine der Pflanzenentwicklung angepasste Wasserversorgung notwendig (BELAU et al., 2013, pp. 41-42). Ein gezieltes Bewässerungsmanagement bedarf fundierter Kenntnisse über die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens. Eine optimale Bodenbearbeitung sowie eine durchdachte Humuswirtschaft kann dazu beitragen, die Wassernutzungseffizienz des Bodens zu steigern (DRASTIG et al. 2010, pp. 21).

2.2.1 Der Boden-Wasser Haushalt

Für die Bewässerungssteuerung durch Modelle mit klimatischer Wasserbilanz und Sensoren ist ein detailliertes Wissen über den Boden-Wasserhaushalt notwendig, um die Einstellungen

sowie die Ergebnisse richtig zu interpretieren. Nachfolgend werden wesentliche Begriffe und Definitionen erläutert.

Die Saugspannung beschreibt die Energie, die die Pflanzen aufbringen müssen, um dem Boden Wasser zu entziehen (SCHINDLER and LISCHIED, 2009). Nach SCHINDLER and LISCHIED (2009) wird „die Abhängigkeit zwischen Saugspannung und Wassergehalt durch die Wasserretentionsfunktion gekennzeichnet“, welche auch als pF-Kurve bezeichnet wird (Abb. 2). Hierbei wird die Saugspannung in hPa als negativer dekadischer Logarithmus dargestellt.

Das maximale Wasserspeichervermögen der Böden wird durch die Feldkapazität definiert (LFL, 2008, pp. 6). Der davon pflanzenverfügbare Bodenwasseranteil entspricht der nutzbaren Feldkapazität. Wenn das Wasser so stark an Bodenteilchen gebunden ist, dass die Saugkraft der Pflanzen nicht mehr ausreicht und die Pflanzen kein Wasser mehr aufnehmen können, ist der permanente Welkepunkt erreicht (BECK, 2000, pp. 26) (Abb. 2). Der nicht mehr pflanzenverfügbare Anteil des Wasser im Boden wird als Totwasser bezeichnet (LFL, 2008, pp. 6).

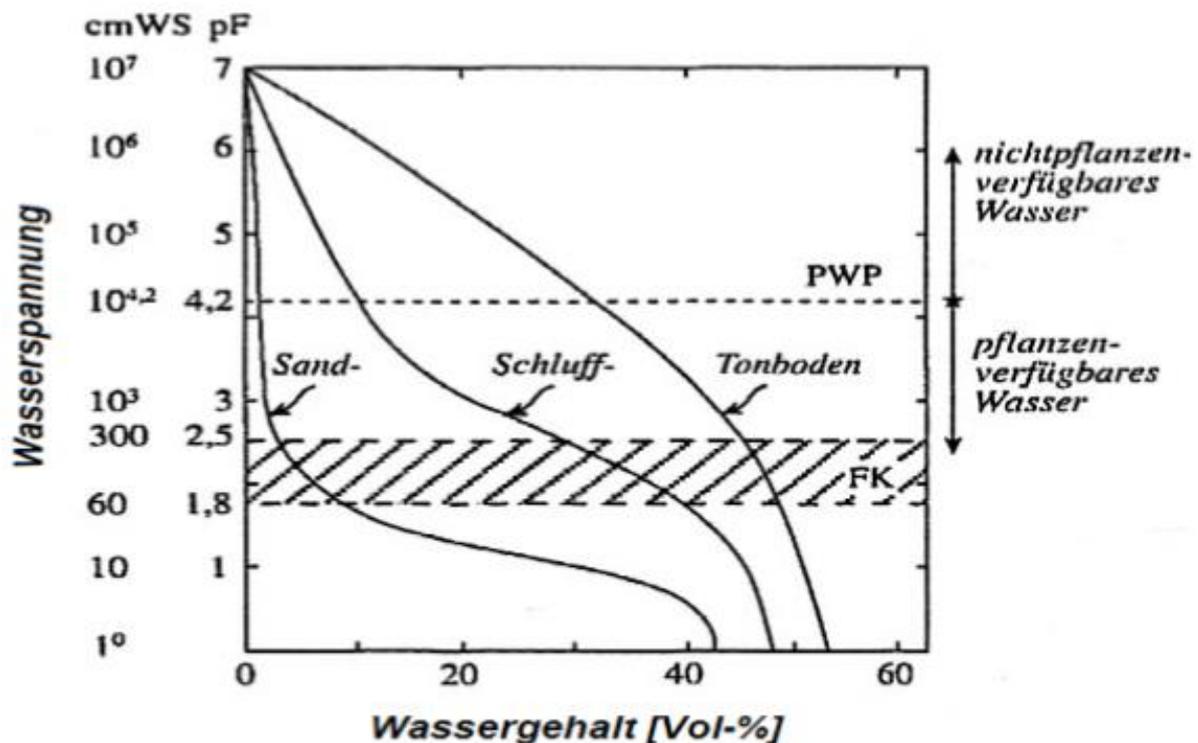


Abb. 2: Beziehung zwischen Wassergehalt und Saugspannung bei unterschiedlichen Bodenarten

Quelle: (SCHEFFER et al., 2002, pp. 216)

Tonböden verfügen über eine hohe Feldkapazität, allerdings ist ein erheblicher Teil davon Totwasser und nicht pflanzenverfügbar. Daher weisen Tonböden nur eine niedrige nFK auf (ALB BAYERN, 2016) (Tab. 3). Sandböden können wenig Wasser aufnehmen,

dementsprechend haben Sandböden ebenfalls nur eine niedrige nutzbare Feldkapazität (LFL, 2008, pp. 8). Schluffböden können das meiste, pflanzenverfügbare Wasser speichern, deshalb weisen Schluffböden die höchste nFK auf. Schluffiger Lehm ist die Bodenart mit der höchsten nFK (ALB BAYERN, 2016).

Tab. 3: Nutzbare Feldkapazität in Abhängigkeit von der Bodenart bei durchschnittlichem Gehalt an organischer Substanz und durchschnittlicher Lagerungsdichte

Bodenart	nFK [Vol. %]
Sand (S)	9 %
Schwach lehmiger Sand (IS)	13 %
Stark lehmiger Sand (IIS)	16 %
Sandiger Lehm (sL)	19 %
Schluffiger Lehm (uL)	22 %
Toniger Lehm (tL)	17 %
Lehmiger Ton (IT)	14 %
Ton (T)	10 %

Quelle: (ALB BAYERN, 2016)

Der Wasseranteil im Boden ändert sich im Laufe der Zeit und wird durch viele verschiedene Faktoren beeinflusst (Abb. 3) (ALLEN et al., 1998, pp. 11-12). Der Wassergehalt in der Wurzelzone steigt durch Bewässerung oder Regen an (ALLEN et al., 1998, pp. 11-12). Teile des zugeführten Wassers fließen oberflächlich ab oder versickern und stehen dann den Pflanzen nicht mehr zur Verfügung. Durch kapillaren Aufstieg wird Wasser ebenfalls in die Wurzelzone transportiert. Allerdings kann der kapillare Aufstieg vernachlässigt werden, wenn das Grundwasser mehr als einem Meter unterhalb des durchwurzelbaren Bereiches liegt (ALLEN et al., 1998, pp. 165). Wesentlich wird der Wassergehalt im Boden durch die Verdunstung verringert, da sowohl durch Evaporation, als auch Transpiration Bodenwasser verdunstet. Horizontale Wasserbewegungen innerhalb der Wurzelzone können unter normalen Bedingungen vernachlässigt werden, lediglich auf hängigen Flächen muss der unterirdische Wasserfluss berücksichtigt werden (ALLEN et al., 1998, pp. 11-12).

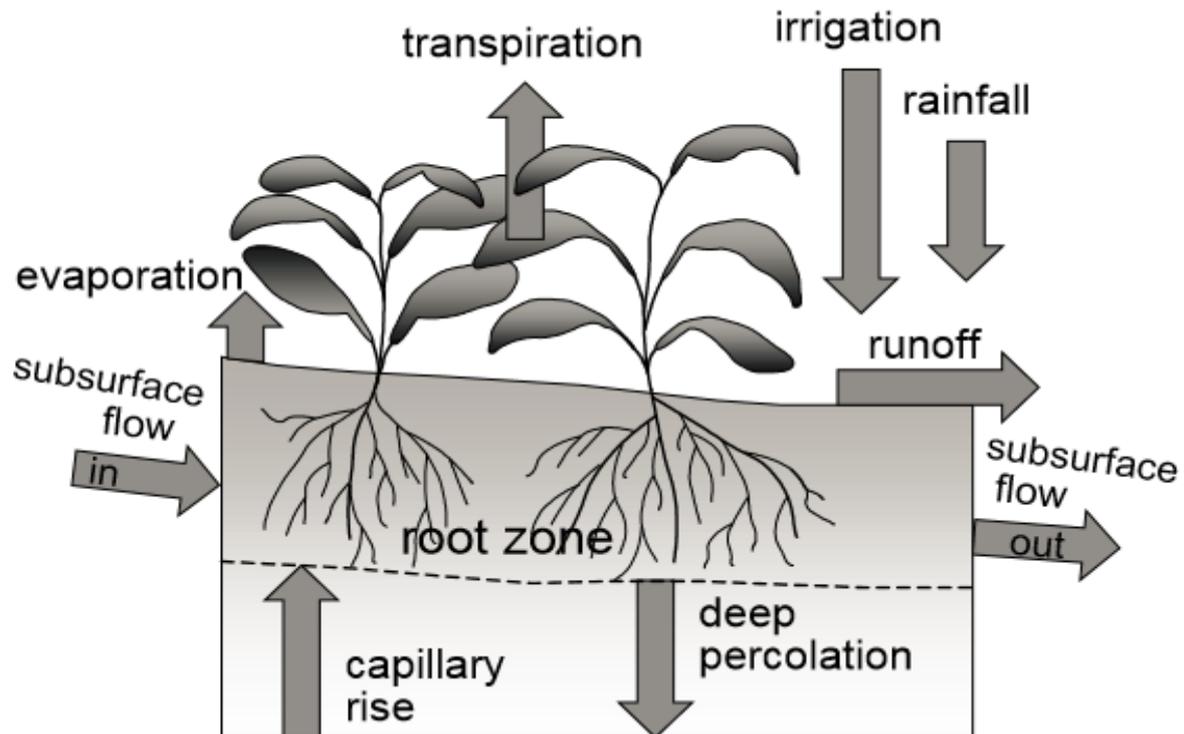


Abb. 3: Das Boden-Wasser-Gleichgewicht in der Wurzelzone

Quelle: (ALLEN et al., 1998, pp. 12)

2.2.2 Möglichkeiten zur Steigerung der Wassernutzungseffizienz

Der Begriff Wassereffizienz wird nach DRASTIG et al. (2010) im Kontext mit Ertragsverbesserungen, beziehungsweise Steigerung der Wasserproduktivität („more crop per drop“) verwendet. Zur Steigerung der Wassernutzungseffizienz wird sowohl Potential bei der Humuswirtschaft, als auch bei der Bodenbearbeitung gesehen.

2.2.2.1 Humuswirtschaft

Humus verbessert die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens, da dieser das drei- bis fünffache seines Gewichts an Wasser binden kann (DRASTIG et al., 2010, pp. 21). Zudem verbessert organisches Material wie beispielsweise Stallmist, Gülle und Gründüngung das Bodengefüge und liefert den Pflanzen wertvolle Nährstoffe. Nachfolgend werden einige Möglichkeiten aufgeführt, wie der Humusgehalt des Bodens nachhaltig gesichert wird.

Durch das Ausbringen von Wirtschaftsdüngern besteht die Möglichkeit, den Humusgehalt zu steigern (DRASTIG et al., 2010, pp. 21). Dies führt zu einer besseren Wasserspeicherung in organischer Substanz, höherem Porenvolumen durch Auflockerung der Böden und einer größeren Reichweite der Wurzeln (DRASTIG et al., 2010, pp. 49). Allerdings steigert eine

höhere Wärmedesorption, die aus der dunklen Farbe des Humus resultiert, die Verdunstung aus dem Boden.

Durch Bodenbearbeitung wird der Humusgehalt des Bodens ebenfalls beeinflusst (DRASTIG et al., 2010, pp. 21). Dieses Thema wird im nächsten Kapitel detailliert behandelt (Tab. 4).

Eine weitere Möglichkeit zur Veränderung des Humusgehaltes stellt die Fruchtfolge dar (DRASTIG et al., 2010, pp. 21). Ein Absinken des Gehaltes an organischer Masse kann die Folge eines hohen Hackfruchtanteils in der Fruchtfolge sein (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN, 2015). Der Anbau von Zwischenfrüchten, mehrjährigem Feldfutter sowie Getreide, wenn das Stroh auf dem Feld verbleibt, haben eine humusmehrende Wirkung auf den Boden. Durch Mulchbedeckung besteht die Möglichkeit, die Evaporation und den oberflächigen Abfluss von Regen zu vermindern (FRICKE et al. 2011, pp. 43). Die Mulchdecke führt nach DRASTIG et al. (2010) zudem zu einer größeren Wasserspeicherfähigkeit des Bodens, da der Niederschlag in der Mulchdecke besser gespeichert wird. Außerdem wird die Verdunstung durch eine reduzierte Bodentemperatur vermindert. Jedoch wird durch eine reduzierte Bodentemperatur die Jugendentwicklung der Pflanzen verlangsamt.

2.2.2.2 Bodenbearbeitung

Durch Bodenbearbeitung soll ein optimaler Luft-, Wasser- und Wärmehaushalt für die Pflanzen geschaffen werden (DRASTIG et al., 2010, pp. 21). Diesbezüglich werden verschiedene Verfahren eingesetzt, die unterschiedliche Auswirkungen auf den Humus- und Wassergehalt haben. Nachfolgend werden die wesentlichen Verfahren der Bodenbearbeitung dargestellt (Tab. 4).

Die konventionelle Bodenbearbeitung mit dem Pflug hat eine zehrende Wirkung auf den Humusgehalt im Boden und erhöht die Verdunstung durch kapillaren Aufstieg (DRASTIG et al., 2010, pp. 22). Eine Verminderung der Evapotranspiration kann durch Pflügen quer zur Windrichtung erreicht werden, da die Windgeschwindigkeit verringert wird.

Die konservierende Bodenbearbeitung mit Grubber hat eine erhaltende Wirkung auf den Humusgehalt im Boden, was eine Erhöhung der Speicherkapazität von Wasser zur Folge hat (DRASTIG et al., 2010, pp. 22).

Die Direktsaat wirkt sich ebenso erhaltend auf den Humusgehalt im Boden aus und verringert die Evaporation (DRASTIG et al., 2010, pp. 22). Darüber hinaus kann die Luftfeuchtigkeit innerhalb der Mulchdecke besser absorbiert werden, daher stellt Direktsaat das Verfahren mit der besten Wassereffizienz dar.

Tab. 4: Vergleich verschiedener Verfahren der Bodenbearbeitung

	Konventionell	Konservierend	Direkt
Durchführung	Pflug	Grubber	Direktsaat
Intensität der Bodenbearbeitung	hoch	mittel	niedrig
Wirkung auf den Humusgehalt	zehrend	erhaltend	erhaltend
Wirkung auf den Wasserhaushalt	Geringes Porenvolumen durch Verdichtung der Böden Erhöhung der Infiltration Erhöhung der Verdunstung aus dem Boden durch kapillaren Aufstieg	Verringerung der Evaporation durch Abtrennen der Kapillare im Oberboden Erhöhen der Speicherkapazität durch Humuserhalt	Verringerung der Evaporation Absorbieren der Luftfeuchtigkeit innerhalb der Mulchdecke Erhöhen der Speicherkapazität durch Humuserhalt

Quelle: (DRASTIG et al., 2010, pp. 22)

2.3 Pflanzen

Eine optimale Versorgung mit Wasser ist für das Erreichen von maximalen Qualitäten und Erträgen notwendig (SCHINDLER and LISCHIED, 2009). Insbesondere für ein gezieltes Bewässerungsmanagement sind die kulturspezifischen Ansprüche an die Wasserversorgung und die Auswirkungen von Trockenstress auf Ertrag und Qualität von entscheidender Bedeutung. Zur Steigerung der Wassernutzungseffizienz werden pflanzenbauliche Möglichkeiten näher erläutert.

2.3.1 Allgemeine Einordnung ausgewählter Kulturen

Die Bewässerung ist ein sehr wichtiger Produktionsfaktor für die Landwirtschaft (ABHIRUP and SUBHADEEP, 2014). Auf der Osterhofener Platte stellen Kartoffeln, Speisezwiebeln und Einlegegurken die wesentlichen Bewässerungskulturen dar, daher wird im weiteren Verlauf der Arbeit auf diese Kulturen detailliert eingegangen.

In Deutschland beträgt die Anbaufläche von Kartoffeln knapp 240.000 Hektar, welche von etwa 29.000 Betrieben bewirtschaftet werden (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2016a) (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2016b) (Tab. 5). Die Anzahl der Betriebe mit Zwiebeln oder Einlegegurken ist im Vergleich zu den Betrieben mit Kartoffelanbau wesentlich geringer, dementsprechend haben beide Kulturen flächenmäßig eine wesentlich geringere Bedeutung als Kartoffeln.

In 2015 wurden durchschnittliche Erträge von 440 dt/ha bei Kartoffeln und Zwiebeln erzielt (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2016a) (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2016b). Bei Einlegegurken konnte ein Ertragsniveau von knapp 800 dt/ha erreicht werden. Die Erträge für Einlegegurken waren in Niederbayern vermutlich auf einem deutlich höheren Niveau, wie Versuchsergebnisse des AELF LANDSHUT et al. (2015) aufzeigen. So lag in 2015 der Ertrag im Durchschnitt der Versuche bei 1555 dt/ha.

Tab. 5: Betriebe, Anbaufläche und Erträge ausgewählter Bewässerungskulturen für Deutschland in 2015

Kultur	Betriebe [Anzahl]	Anbaufläche [ha]	Ertrag [dt/ha]
Kartoffeln	28.750	236.700	438,1
Speisezwiebeln	1.490	10.324	441,0
Einlegegurken	342	2.390	795,3

Quelle: (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2016a), (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2016b)

2.3.2 Bewässerungsspezifische Einordnung ausgewählter Kulturen

Im weiteren Verlauf der Arbeit werden die kulturspezifischen Ansprüche an die Wasserversorgung und die Effekte von Zusatzwassergaben auf Ertrag und Qualität auf Basis von Versuchsergebnissen für Kartoffeln, Zwiebeln und Einlegegurken beschrieben.

Das Wurzelsystem der Pflanzen hat einen entscheidenden Einfluss auf den Bewässerungsbedarf einzelner Kulturen (LFL, 2008, pp. 8). Gemüsearten wie beispielsweise Salat oder Einlegegurken sind „Flachwurzler“. Zwiebeln und Kartoffeln können einen Wurzelraum von bis zu 60 cm Tiefe erschließen (ALB BAYERN, 2016). Winterraps und Zuckerrüben bilden das Wurzelwerk bis in tiefe Bodenschichten aus (Tab. 6).

Tab. 6: Durchschnittliche Durchwurzelungstiefe verschiedener Kulturen

Kulturart	Maximale Wurzeltiefe [cm]
Kopfsalat, Erdbeeren	30
Einlegegurken	40
Sommergetreide, Kartoffeln, Zwiebeln, Kopfkohl	60
Wintergetreide, Mais	80
Zuckerrüben, Winterraps	90

Quelle: (ALB BAYERN, 2016)

Der Bodenfeuchtegrenzwert definiert die Ansprüche der jeweiligen Kultur an die Wasserversorgung, bei denen keine Ertrags- und Qualitätseinbußen zu erwarten sind (ALB BAYERN, 2016). Einlegegurken und Salat haben hohe Ansprüche an die Wasserversorgung im Boden, während die Anforderungen an die Wasserversorgung für Zuckerrüben, Mais und Winterweizen auf einem deutlich geringeren Niveau liegen (Tab. 7). Zudem ist der Wasserbedarf der Kulturen in hohem Maße vom Entwicklungsstadium abhängig (ALB BAYERN, 2016). So haben beispielsweise Kartoffeln während des Bestandesschlusses den größten Wasserbedarf. Der maximale Wasserbedarf an heißen Sommertagen beträgt bei Mais und Zuckerrüben bis zu 6,5 mm. Im Vergleich dazu kann dieser bei Einlegegurken, Zwiebeln sowie Kopfsalat bei bis zu 9 mm täglich liegen (ALB BAYERN, 2016).

Tab. 7: Grenzwerte guter Wasserversorgung und maximaler Wasserbedarf an heißen Sommertagen für ausgewählte Kulturen

Kultur	Bodenfeuchtegrenzwert [% der nFK]	Maximaler Wasserbedarf [Heißer Sommertag in mm]
Kartoffeln	50 %	7,5
Frühkartoffeln	70 %	7,5
Winterweizen	35 %	6,5
Einlegegurke	70 %	8,5
Zwiebeln	50 %	9,0
Kopfsalat	70 %	9,0
Mais	35 %	6,5
Zuckerrübe	35 %	6,5

Quelle: (ALB BAYERN, 2016)

2.3.2.1 Kartoffeln

Kartoffeln werden aufgrund der vielfältigen Verwendungsmöglichkeiten als Speisekartoffeln, Veredelungskartoffeln, Stärkekartoffeln und Pflanzkartoffeln eingeteilt (MUNZERT and FRAHM, 2006, pp. 549). Aus phytosanitären Gründen ist für den Kartoffelanbau eine drei- bis vierjährige Fruchtfolge erforderlich (MUNZERT and FRAHM, 2006, pp. 556-564). Die Aussaatstärke beträgt bei einer 35/50 Sortierung 40.000 bis 42.000 Pflanzen/ha. Die Ablage der Kartoffeln in Dämmen erfolgt bei einem Reihenabstand von 75 cm. Bei einem Ertrag von 400 dt/ha werden Nährstoffe in Höhe von 46 kg P₂O₅, 240 kg K₂O und 16 kg MgO abgefahren. Durch Bewässerung können Ertragsschwankungen verringert und hohe Qualitäten (Mindestgröße, Schalenbeschaffenheit, Form) sichergestellt werden (MÜLLER et al., 2016).

Auf Basis von dreijährigen Versuchsergebnissen bei Kartoffeln berichtet SCHOELLKOPF (2011), dass Erträge und Qualitäten bei bewässerten Versuchsvarianten im Vergleich zur unbewässerten Kontrolle deutlich gesteigert werden konnten (Tab. 8). Die Versuche wurden von 2008 bis 2010 mit der Industriekartoffelsorte Pirol, die in der Chipsproduktion verarbeitet wird, auf einem lehmig-sandigen Standort nordöstlich von Karlsruhe durchgeführt (SCHOELLKOPF, 2011, pp. 84-89).

Für die Bewässerung wurden verschiedene Verfahren eingesetzt: Rohrberegnung, mobile Beregnungsmaschine mit Einzelregner, mobile Beregnungsmaschine mit Düsenwagen und Tropfbewässerung (SCHOELLKOPF, 2011, pp. 84-89) (Tab. 8). Die Tropfbewässerung wurde bei den verschiedenen Versuchsgliedern zwischen jedem Damm, zwischen jedem zweiten Damm sowie auf der Dammkrone positioniert. Bewässerungsgaben wurden nach Unterschreitung der nFK von 60 % gegeben. Durch Bewässerungsgaben von 25 mm wurde der Bodenwassergehalt wieder auf 80 % aufgefüllt. Die Tropfbewässerung erhielt um 20 % niedrigere Bewässerungsgaben, da eine um 20 % niedrigere Verdunstung im Vergleich zu den anderen Verfahren unterstellt wurde.

In den Jahren 2008 und 2010 konnten aufgrund der trockenen und warmen Witterung sehr hohe Mehrerträge im Vergleich zur unbewässerten Kontrolle erzielt werden (SCHOELLKOPF, 2011, pp. 84-89). 2009 war die Niederschlagsverteilung und Menge sehr günstig, daher fiel der Mehrertrag der Bewässerung im Vergleich zur Kontrolle deutlich geringer aus als in den beiden anderen Versuchsjahren. Bei Betrachtung der drei Versuchsjahre können kaum Ertragsunterschiede zwischen Überkopfberegnung, Rohrberegnung und Tropfbewässerung auf der Dammkrone festgestellt werden. Die beiden Varianten mit Tropfbewässerung im Zwischendammverfahren erreichten einen etwas niedrigeren Mehrertrag, aber es lag keine Signifikanz zwischen den verschiedenen Versuchsvarianten bei Tropfbewässerung vor.

Neben deutlichen Ertragssteigerungen konnte ebenso die Qualität der bewässerten Versuchsglieder verbessert werden (SCHOELLKOPF, 2011, pp. 87). So hatten die bewässerten Kartoffeln einen geringeren DryCore- und Schorfanteil als die unbewässerte Kontrolle. Darüber hinaus wurden eine gleichmäßigere Sortierung sowie eine bessere Lagerfähigkeit der bewässerten Kartoffeln erreicht. Außerdem konnte Zwiewuchs, der in Phasen von starken Schwankungen zwischen Trocken- und Regenperioden auftritt, durch Bewässerung verringert werden.

Die LFL (2016) berichtet von erheblichen Qualitätsminderungen durch Kartoffelschorf, die 2010 bei Tropfbewässerungsversuchen im Zwischendammverfahren auf Sandboden auftraten.

Tab. 8: Ertrag von Kartoffeln in Abhängigkeit von verschiedenen Bewässerungsverfahren

Bewässerungsvariante	2008	2009	2010	2008-2010
	[t/ha]	[t/ha]	[t/ha]	[t/ha]
Kontrolle (unbewässert)	28	39	24	30
Beregnungsmaschine mit Einzelregner	57	49	50	52
Rohrberegnung Kreisregner	54	52	48	51
Beregnungsmaschine mit Düsenwagen	57		48	
Tropfbewässerung auf jedem Damm	55	50	50	51
Tropfbewässerung zwischen jedem Damm	58	46	41	48
Tropfbewässerung zwischen jedem 2. Damm	49	47	42	46

Quelle: (SCHOELLKOPF, 2011, pp. 86)

2.3.2.2 Zwiebeln

Für den Zwiebelanbau ist eine fünfjährige Fruchtfolge erforderlich (AELF LANDSHUT et al., 2015, pp. 87-88). Die Aussaat wird ab 20. März in Beetbauweise bei einer Bestandesdichte von 60 bis 80 Pflanzen/ m² durchgeführt. Die Zwiebelernte erfolgt je nach Sorte zwischen Ende Juli und Mitte September. Bei einem Ertrag von 500 dt/ha werden Nährstoffe in Höhe von 90 kg N, 40 kg P₂O₅, 120 kg K₂O und 15 kg MgO abgefahren. Die Beregnung stellt beim Anbau von Zwiebeln die entscheidende Voraussetzung für Ertrags- und Qualitätssicherung dar (AELF LANDSHUT et al., 2015, pp. 87).

Am Sächsischen LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE (2015) wurden im Rahmen eines fünfjährigen Projekts von 2010 bis 2014 Bewässerungsversuche mit je vier Sommerzwiebelsorten durchgeführt. Die Kontrolle war im Wesentlichen unbewässert. Die „Intensiv“-Variante nach Geisenheimer Bewässerungssteuerung erhielt Wassergaben zwischen 104 bis 289 mm, was zu signifikanten Mehrerträgen von circa 200 dt/ha beziehungsweise 40 % gegenüber der unbewässerten Kontrolle führte (LFULG, 2015, pp 123). In den Jahren 2010 und 2011 erzielte eine nur wenig bewässerte „Praxis“-Variante (2010: 44 mm; 2011: 20 mm) 8 % höhere Mehrerträge im Vergleich zur Kontrolle. In den Versuchsjahren 2012 und 2014 wurden einer Variante mit „minimierten“ kc-Werten Bewässerungsgaben in Höhe 92 bzw. 120 mm gegeben. Es konnte ein Mehrertrag von 35 % im Vergleich zur Kontrolle erreicht werden und somit war der Mehrertrag leicht niedriger als bei der „Intensiv“-Variante.

Im Rahmen des Projekts wurden außerdem Sorten mit einer speziellen Trockenstresstoleranz getestet. Insgesamt konnten beim marktfähigen Ertrag (> 40 mm) in keinem Versuchsjahr

Sortenunterschiede bei der Trockenstresstoleranz beziehungsweise bei der Beregnungsbedürftigkeit festgestellt werden (LFULG, 2015, pp. 123).

Im weiteren Verlauf wird explizit auf die Versuchsergebnisse aus dem Jahr 2014 eingegangen, da in diesem Jahr nach Geisenheimer Bewässerungssteuerung die höchste Bewässerungsmenge (298 mm) gegeben wurde und eine weitere Variante nach „minimierten“ kc-Werten (120 mm) bewässert wurde (LFULG, 2015, pp. 154-155). Die Versuche wurden südöstlich von Dresden (DD-Pillnitz) auf Parabraunerde durchgeführt (LFULG, 2015, pp. 124-125).

Im Versuchsjahr 2014 konnte bei der Intensiv-Variante im Mehrertrag von 294 dt/ha im Vergleich zur Kontrolle erzielt werden (Abb. 4) (LFULG, 2015, pp. 158). Die Ertragsdifferenz zwischen „Minimiert“- und „Intensiv“-Variante betrug 43 dt/ha. Dieser nicht signifikante Mehrertrag zwischen den beiden Varianten wurde durch einen zusätzlichen Wassereinsatz von 178 mm erreicht. Bei einer genaueren Betrachtung der Sortierung lässt sich festhalten, dass der Mehrertrag der „Intensiv“-Variante im Vergleich zur „Minimiert“-Variante auf einer deutlich größeren Menge an Zwiebeln > 70 mm beruht (Abb. 5). Der Ertrag an Marktware der Sortierung 40- 70 mm ist bei der „Minimiert“-Variante sogar höher als bei der „Intensiv“-Variante (Abb. 6). Die Erntemenge an Zwiebeln < 40 mm war insgesamt relativ gering, erwartungsgemäß fiel die Menge bei der Kontrolle am höchsten aus (Abb. 7) (LFULG, 2015, pp. 157).

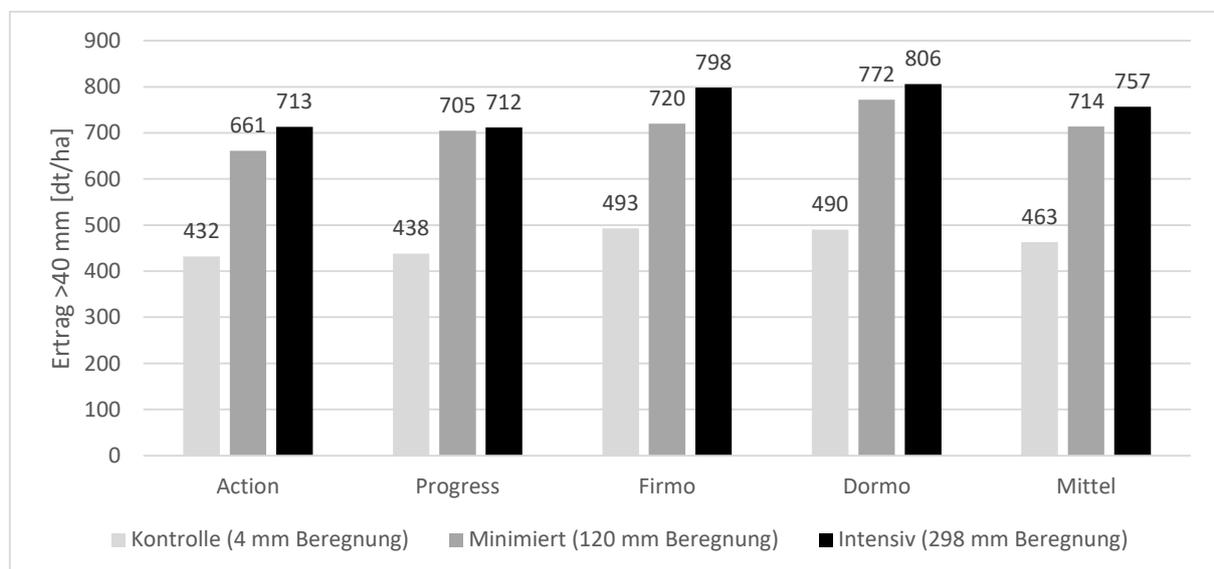


Abb. 4: Marktfähiger Ertrag an Zwiebeln > 40 mm in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte [Zwiebelversuch 2014]

Quelle: (LFULG, 2015, pp. 158)

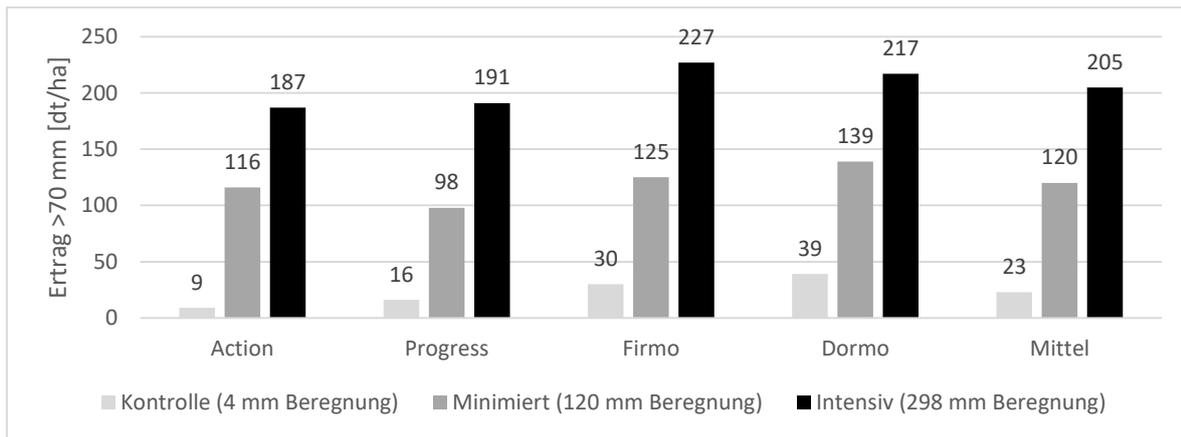


Abb. 5: Ertrag an Zwiebeln > 70 mm in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte [Zwiebelversuch 2014]

Quelle: (LFULG, 2015, pp. 159)

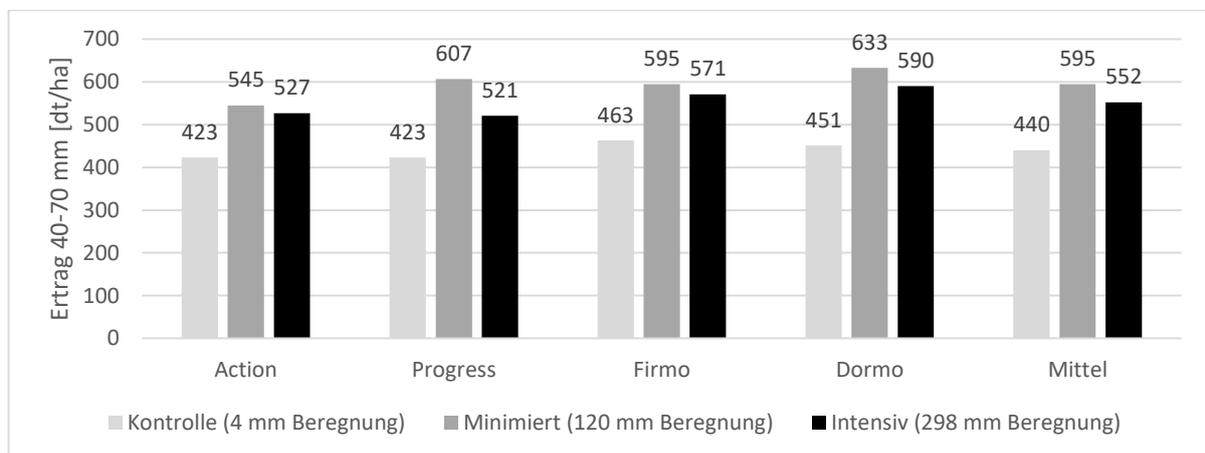


Abb. 6: Ertrag an Zwiebeln der Sortierung 40-70 mm in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte [Zwiebelversuch 2014]

Quelle: (LFULG, 2015, pp. 159)

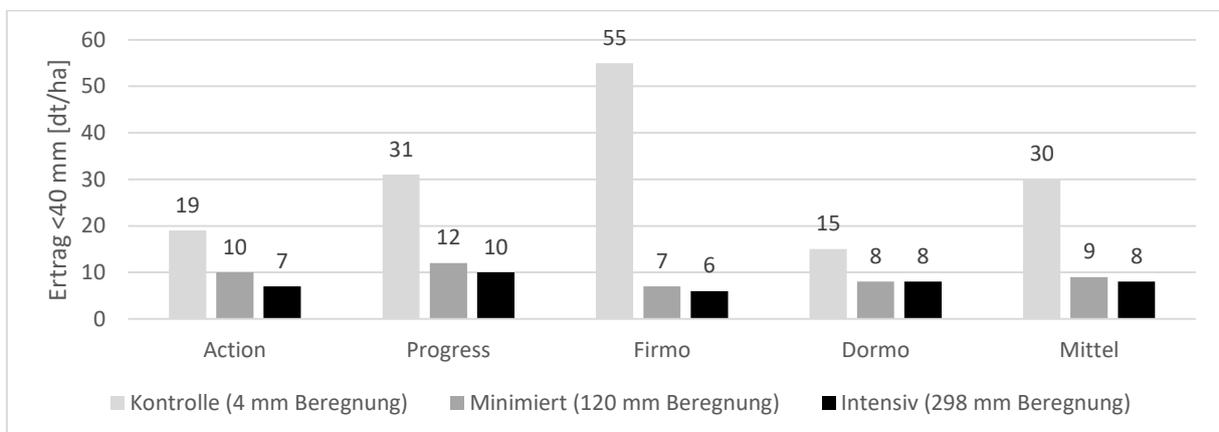


Abb. 7: Ertrag an Zwiebeln < 40 mm in Abhängigkeit von Bewässerung und Sorte [Zwiebelversuch 2014]

Quelle: (LFULG, 2015, pp. 160)

Insgesamt zeigt sich, dass unter gegebenen Standortbedingungen auch bei deutlich reduzierten Bewässerungsgaben gegenüber dem Geisenheimer Modell beinahe Vollertrag erzielt wurde (LFULG, 2015, pp. 170). Die minimierte Bewässerungsvariante führte nur zu geringen, statistisch nicht absicherbaren Mindererträgen. Das Geisenheimer Modell wurde unter den gegebenen Boden- und Witterungsbedingungen für das mitteldeutsche Gebiet als nicht ressourcenschonende Bewässerungssteuerung für den Sommerzwiebelanbau eingeordnet. Die Ergebnisse der Versuche werden im weiteren Verlauf der Arbeit nochmals interpretiert, da im Rahmen der Experteninterviews auf den Beregnungsbedarf von Zwiebeln in einem sehr heißen und trockenen Jahr eingegangen wird. Somit ist eine gute Diskussionsgrundlage gegeben, um die Bewässerungssteuerung für Zwiebeln zu interpretieren.

2.3.2.3 Einlegegurken

Für den Anbau von Einlegegurken ist eine weitgestellte, mindestens vierjährige Fruchtfolge erforderlich (AELF LANDSHUT et al., 2015, pp. 41-42). Die Aussaat wird ab Mitte April mit einer Aussaatstärke von 50.000 Korn/ha durchgeführt. Die Gurken werden ab Mitte Juni zwei- und dreimal wöchentlich, je nach Witterung und Sortierwünschen des Abnehmers, gepflückt. Bei einem Ertrag von 1000 dt werden Nährstoffe in Höhe von 150 kg N, 70 kg P₂O₅, 240 kg K₂O und 20 kg MgO abgefahren (AELF LANDSHUT et al., 2015, pp. 41). Aus betriebswirtschaftlicher Sicht kann ein Anbau ohne Bewässerung nicht vertreten werden.

Im Rahmen von dreijährigen Bewässerungsversuchen wurde von MOSLER (1999) der Einfluss der Bewässerung auf den Ertrag untersucht. Hierbei wurden nur im Jahr 1995 durch Wassergaben statistisch signifikante Mehrerträge im Vergleich zur unbewässerten Kontrolle erzielt (MOSLER, 1999, pp. 130-131) (Tab. 9). In 1996 und 1997 wurden ebenfalls Mehrerträge im Vergleich zur unbewässerten Kontrolle generiert, allerdings konnten die Mehrerträge nicht statistisch abgesichert werden. Die Ursache für die fehlende Signifikanz dürfte in den ergiebigen und gleichmäßig verteilten Niederschlägen liegen. Durch zusätzlich zur Bewässerung gegebene Düngergaben über den Tropfschlauch konnten auch in den beiden feuchten Versuchsjahren 1996 und 1997 signifikante Mehrerträge gegenüber den unbewässerten Variante erzielt werden (MOSLER, 1999, pp. 134). Somit wurden in den Versuchsvarianten „Fertigation“ die besten Versuchsergebnisse erreicht. Für die biologische Gurkenproduktion besteht die Möglichkeit, dass die Überkopfberegnung die wirtschaftlichste Versuchsvariante darstellt, da keine Fertigation durchgeführt werden darf (MOSLER, 1999, pp. 143).

Mit der Bewässerung wurde bei den Versuchsvarianten zu einem unterschiedlichen Zeitpunkt begonnen (MOSLER, 1999, pp. 39-40). Die Varianten „Fertigation III und IV“ wurden bereits

kurz nach dem Auflaufen bewässert, um die Düngergaben auszubringen. Die Varianten „Fertigation I und II“ sowie „Tropfbewässerung III und IV“ wurden zwei bis drei Wochen vor Erntebeginn in Betrieb genommen. Mit den Varianten „Tropfbewässerung I und II“ wurde erst wenige Tage vor Erntebeginn gestartet, die Überkopfberegnung kam erst ab Mitte Juli zum Einsatz. Die Bewässerungsgaben wurden gegeben, wenn die Saugspannung den Wert von -300 hPa unterschritten hatte.

Tab. 9: Ertrag von Einlegegurken in Abhängigkeit von Bewässerung und Fertigation

	1995		1996		1997		1995-1997	
	[dt/ha]	relativ	[dt/ha]	[relati	[dt/ha]	relativ	[dt/ha]	relativ
Kontrolle	609	100 %	655	100 %	773	100 %	679	100 %
Überkopfberegnung			654	100 %	799	103 %	726	107 %
Tropfbewässerung I	687	113 %	682	104 %	810	105 %	726	107 %
Tropfbewässerung II	708	116 %	689	105 %	828	107 %	742	109 %
Tropfbewässerung III	694	114 %	658	100 %	818	106 %	723	107 %
Tropfbewässerung IV			674	103 %	824	107 %	749	110 %
Fertigation I			683	104 %	833	108 %	758	112 %
Fertigation II			691	105 %	864	112 %	777	114 %
Fertigation III			732	112 %	875	113 %	804	118 %
Fertigation IV			745	114 %	906	117 %	825	122 %

Quelle: (MOSLER, 1999, pp. 53)

2.3.3 Möglichkeiten zur Steigerung der Wassernutzungseffizienz

Der Begriff Wassereffizienz wird nach DRASTIG et al. (2010) im Kontext mit Ertragsverbesserungen beziehungsweise Steigerung der Wasserproduktivität („more crop per drop“) verwendet. Potential zur Steigerung der Wassernutzungseffizienz wird im Pflanzenbau in den Bereichen Züchtung, Düngung und Pflanzenschutz gesehen (DRASTIG et al., 2010, pp. 25) (MOLDEN et al, 2010).

Durch eine gezielte Auswahl von trockenoleranten Sorten kann die Wassereffizienz erhöht werden (DRASTIG et al., 2010, pp. 25). Bei der Sortenwahl kann der Reifezeitpunkt der Sorte ebenfalls einen bedeutenden Einfluss auf die Wassereffizienz haben, da der Zeitpunkt der Blüte und der Fruchtentwicklung entscheidend für den Wasserbedarf ist. So werden beispielsweise in Brandenburg frühreife Weizensorten zunehmend relevant, die zügig Abreifen und nicht der Sommertrockenheit ausgesetzt sind. Damit kann der Transpirationskoeffizient erhöht werden, da das Wasser den Pflanzen dann zur Verfügung steht, wenn es benötigt wird.

Künftig wird erwartet, dass das Merkmal Trockentoleranz in der Züchtungsarbeit verstärkt Berücksichtigung finden wird.

Durch Düngung kann die Wasserversorgung in vielfältiger Weise beeinflusst werden. So fördert eine optimale Nährstoffversorgung eine zügige Jugendentwicklung der Pflanzen (DRASTIG et al., 2010, pp. 27-28). Somit kann der Boden schnell mit Blättern bedeckt und die Evaporation vermindert werden. Eine ausreichende Versorgung mit Kalium ist sicherzustellen, da Kalium für die Wassernutzung unter Trockenstress und eine Regulierung des Wasserhaushaltes in der Pflanze notwendig ist. Somit kann der Transpirationskoeffizient der Pflanze erhöht werden. Eine adäquate Versorgung mit Phosphor und Mangan fördert die Wurzelentwicklung. Dementsprechend wird die Toleranz gegen Trockenstress ebenso verbessert, da die Pflanzen Wasser aus tieferen Bodenschichten erschließen können.

Pflanzenschutzmaßnahmen können die Gesundheit von Pflanzen fördern und Unkräuter als Konkurrenz um Bodenwasser reduzieren (DRASTIG et al., 2010, pp. 25). Durch die Verringerung von unproduktiver Verdunstung durch Unkräuter kann der Transpirationskoeffizient erhöht und die Wassereffizienz verbessert werden.

2.4 Bewässerungsverfahren

Beregnung stellt ein arbeits- und kostenintensives Verfahren in der landwirtschaftlichen Produktion dar (GRAMM, 2014). Vor dem Hintergrund von regional auftretender Wasserknappheit ist insbesondere die Effizienz (Verteilgenauigkeit/ Verdunstung) des Bewässerungsverfahrens von entscheidender Bedeutung (DIRKSMEYER, 2009). Die Bewässerung kann mit verschiedenen Verfahren durchgeführt werden (Abb. 8).

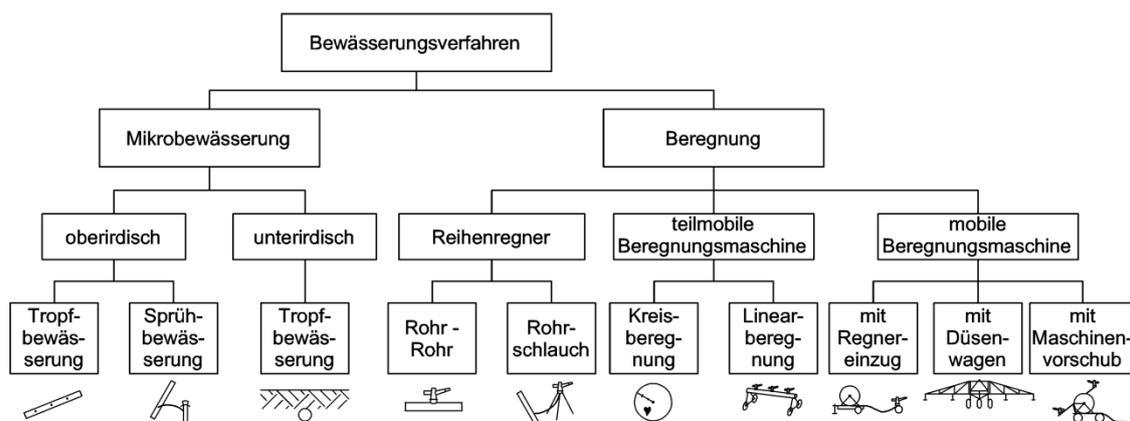


Abb. 8: Übersicht über Bewässerungssysteme zur landwirtschaftlichen Bewässerung nach DIN 19655

Quelle: (SEIS et al., 2016, pp. 130)

2.4.1 Mobile Berechnungsmaschinen

Mobile Berechnungsmaschinen mit Einzelregner werden meist mit Mittel- oder Starkregner ausgestattet (BELAU et al., 2013, pp. 60) (Abb. 9). Insgesamt stellt dieses Verfahren ein arbeitssparendes Verfahren dar. Weitere Vorteile sind die hohe Mobilität des Verfahrens sowie die Möglichkeit, den Auf- und Abbau mit einer Arbeitskraft bewältigen zu können (KREß, 2014, pp. 33). Wesentliche Nachteile stellen eine schlechte Wasserverteilung bei Wind sowie ein relativ hoher Energiebedarf, der durch einen Betriebsdruck von vier bis fünf bar am Regner bedingt ist, dar (BELAU et al., 2013, pp. 60). Ebenfalls negativ zu beurteilen sind oberflächige Bodenverschlammungen, da große Tropfen mit hoher Geschwindigkeit auf den Boden auftreffen (KREß, 2014, pp. 33). Die Verdunstungsverluste bei der Überkopfberegnung werden intensiv diskutiert, wobei in Versuchen Wasserverluste von bis zu 45 % genannt werden (SOURELL et al., 2012). Allerdings lassen theoretische Überlegungen auf Basis der Kombination des Eddy-Kovarianz Messsystems mit der Saftstrommessung auf niedrigere Verdunstungsverluste schließen.

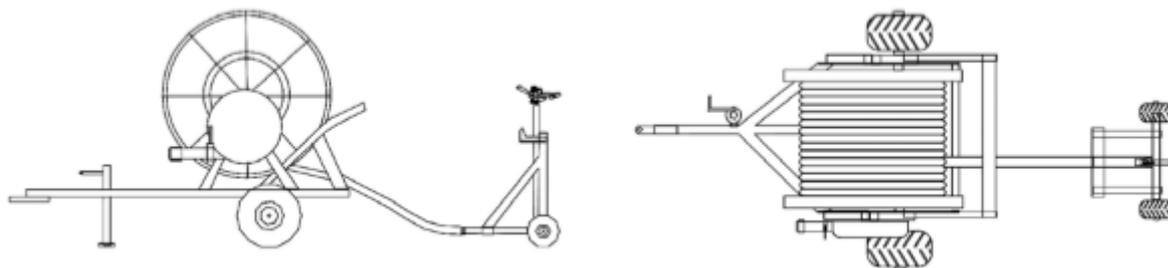


Abb. 9: Piktogramm einer mobilen Beregnungsmaschine mit Einzelregner

Quelle: (KTBL, 2014)

Der Düsenwagen repräsentiert eine Weiterentwicklung der mobilen Beregnungsmaschinen und kann mit einem geringeren Wasserdruck von 1,5 bis 2,0 bar betrieben werden (BELAU et al., 2013, pp. 61-62) (Abb. 10). Dies ermöglicht einen geringeren Pumpendruck, wodurch Energiekosten reduziert werden können (VIEHWEG, 1997). Im Vergleich zur Beregnungsmaschine mit Einzelregner ermöglicht der Düsenwagen geringere Wurfhöhen, eine verringerte Windanfälligkeit, eine bessere Verteilgenauigkeit und eine Teilbreitenschaltung. Des Weiteren stellt der Düsenwagen eine „mildere“ Form der Wasserzuführung dar. Nachteilig beim Düsenwagen sind die stärkere Beregnungsintensität und die höheren Investitionskosten im Vergleich zur mobilen Beregnungsmaschine (VIEHWEG, 1997) (KTBL, 2014).

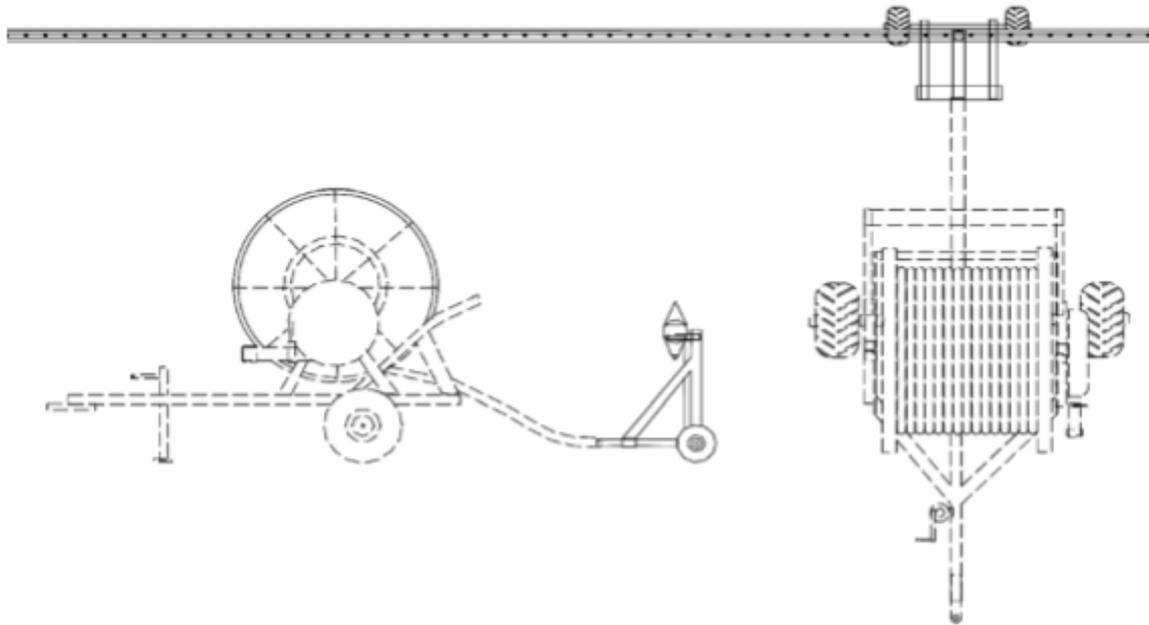


Abb. 10: Piktogramm einer mobilen Beregnungsmaschine mit Düsenwagen

Quelle: (KTBL, 2014)

2.4.2 Reihenregner

Aufgrund des hohen zeitlichen und körperlichen Installationsaufwandes wird die Rohrberegnung während der Kulturzeit fest verlegt und erst am Ende der Kulturzeit wieder abgebaut (KLEBER, 2014). Der große Vorteil der Rohrberegnung ist, dass mit ihr auch kleine Wassergaben in kurzen Zeitabständen für flachwurzelnde Kulturen wie Salat ausgebracht werden können (VIEHWEG, 1997). Einen weiteren Vorteil der Rohrberegnung stellt die Eignung zur Frostschutzbewässerung dar (SCHOELLKOPF, 2011, pp. 85). Nachteilig kann eine teilweise unzureichende Wasserverteilung sein (KREß, 2014, pp. 39)

2.4.3 Tropfbewässerung

Die Tropfbewässerung wird den Mikrobewässerungsverfahren zugeordnet (BELAU et al., 2013, pp. 68-73). Durch den punktförmigen Wasseraustritt kann die Querverteilung des Wassers nur im Boden erfolgen (VIEHWEG, 1997). Abhängig von der Bodenart ist eine zwiebelförmige Wasserverteilung mit einem Durchmesser von 0,4 bis 0,7 m festzustellen. Tropfbewässerung gilt als kulturverträglich, energiesparend und wassereffizient (BELAU et al., 2013, pp. 68-73). Der Arbeitsaufwand für Installation und Abbau ist hoch, jedoch während der Beregnungsperiode vergleichsweise gering. Die Tropfbewässerung ermöglicht von allen Bewässerungstechniken die effektivste Zusatzwasserverwertung (BELAU et al., 2013, pp. 68-73). Einen weiteren Vorteil stellt die Möglichkeit der Fertigation dar. Somit ist eine gezielte

Applikation von Flüssigdünger für eine optimale Nährstoffversorgung möglich (KREß, 2014). Probleme bei der Tropfbewässerung können auftreten, wenn Feinwurzeln in die Öffnungen der Tropflöcher einwachsen (SOURELL, 2009). Dies kann dazu führen, dass Tropflöcher zuwachsen, was eine gleichmäßige Verteilung bei der Wasserausbringung verhindert (SOURELL, 2009). Aufgrund der höheren Kosten im Vergleich zu anderen Verfahren ist die Tropfbewässerung vor allem bei hochpreisigen Kulturen wie Gurken, Erdbeeren oder Spargel verbreitet (BELAU et al., 2013, pp. 68-73). Nur vereinzelt konnte sich diese im Kartoffelanbau aufgrund hoher Material- und Arbeitseinsatz durchsetzen (FRICKE and MEYER, 2017).

2.5 Verfahren zur Bewässerungssteuerung

Für optimales Wachstum der Pflanzen ist eine der Pflanzenentwicklung angepasste Versorgung mit Wasser notwendig, um hohe Erträge mit erforderlicher Qualität zu erzielen (PASCHOLD et al., 2009) (BELAU et al. 2013, pp. 41-42). Durch eine Bewässerungssteuerung nach objektiven Kriterien kann eine optimale Wasserzufuhr unterstützt und die Versickerung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln minimiert werden. Aufgrund von hohen Energie-, Arbeits- und Wasserkosten und einer Begrenzung der Entnahmemenge von Wasser ist eine objektive Bewässerungssteuerung wichtig. Praxistaugliche Verfahren zur Bewässerungssteuerung stellen die klimatische Wasserbilanz und Bodenfeuchtemessungen dar, auf welche nachfolgend näher eingegangen wird (PASCHOLD et al., 2009).

2.5.1 Modelle mit klimatischer Wasserbilanz

Die Verdunstung von Boden und Pflanzen kann auf Basis einer klimatischen Wasserbilanz berechnet werden (KLEBER, 2014). Durch kultur- und entwicklungsabhängige Koeffizienten (k_c) kann mittels Wetterdaten eine Referenzverdunstung ermittelt und der Wasserbedarf für die jeweilige Kultur abgeleitet werden.

2.5.1.1 FAO Penman-Monteith Methode

Erste Steuerungssysteme für die Bewässerung auf Basis von Computersystemen wurden bereits Ende der 1960er Jahre in den USA veröffentlicht (JENSEN, 1969) Als global gültiger Standard zur Berechnung von Bewässerungssteuerungen wird die FAO Penman-Monteith Methode verwendet (ALLEN et al., 1998). Auf Basis der FAO Penman-Monteith Methode wird die kulturspezifische Verdunstung ermittelt, welche die Grundlage für das Geisenheimer Modell sowie das Boden-Wasser-Modell Weihenstephan darstellt. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird auf diese beiden Modelle näher eingegangen. Zuerst werden die wesentlichen Einflussfaktoren auf die Verdunstung erläutert.

Definition Evapotranspiration (ALLEN et al., 1998):

Evapotranspiration stellt die Kombination von zwei unterschiedlichen Prozessen dar. Zum einen findet der Wasserverlust durch Evaporation an der Bodenoberfläche statt, zum anderen durch Transpiration an den Pflanzen. Evaporation und Transpiration treten gleichzeitig auf und es ist nicht einfach zwischen beiden Prozessen zu differenzieren. Die Evaporation des bepflanzten Bodens wird hauptsächlich durch die Sonneneinstrahlung an der Bodenoberfläche bestimmt. Dieser Anteil verringert sich während der Wachstumsphase, da die Kultur wächst und die Pflanzen zunehmend den Boden bedecken. Während der Jugendentwicklung der Pflanzen verdunstet das Wasser hauptsächlich aus dem Boden durch Evaporation. Wenn der Pflanzenbestand gut entwickelt ist und der Boden komplett bedeckt wird, stellt Transpiration den Hauptteil der Verdunstung dar. Nachfolgend wird die anteilmäßige Verteilung der Evaporation und der Transpiration an der Evapotranspiration dargestellt (Abb. 11).

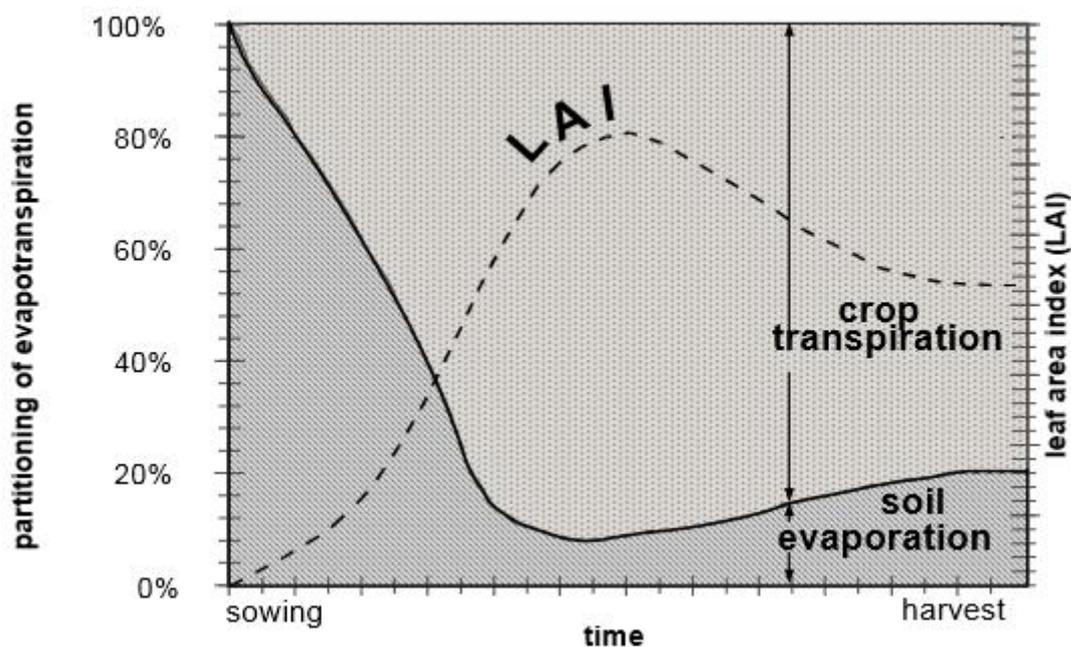


Abb. 11: Anteil der Evaporation und Transpiration an der Evapotranspiration während der Vegetation

Quelle: (ALLEN et al., 1998)

Nachfolgend werden die beeinflussenden Faktoren auf die Evapotranspiration detailliert beschrieben (SAVVA and FRENKEN, 2002):

- Wetterparameter
- Kultureigenschaften
- Management- und Umweltaspekte

Wetterparameter:

Die Höhe der Evapotranspiration ist von den Parametern Sonneneinstrahlung, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit abhängig (ALLEN et al., 1998). Die Evapotranspiration einer standardisiert bedeckten Bodenoberfläche wird durch ETo bei der Referenzkultur Gras beschrieben. Durch eine Wetterstation können die klimatischen Parameter Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Sonneneinstrahlung aufgezeichnet und über Computermodelle kann ETo berechnet werden.

Kulturfaktoren:

Bei der Beurteilung der Evapotranspiration einer Kultur sind Sorte und Entwicklungsstadium zu berücksichtigen (ALLEN et al., 1998). Verschiedene ET-Werte sind die Folge von unterschiedlichen Pflanzentypen, die sich durch Transpiration, Pflanzenhöhe, Kulturhärte, Reflektion, Bodenbedeckung und Wurzelwachstum differenzieren können.

Die allgemeine K_c -Kurve ändert sich während der Vegetationsphase (Abb. 12). Nach der Aussaat ist der K_c -Wert gering und oftmals kleiner als 0,4 (ALLEN et al., 1998). Der K_c -Wert steigt im Laufe der Jugendentwicklung innerhalb von kurzer Zeit stark an und erreicht den maximalen K_c -Wert bei nahezu vollständiger Pflanzenentwicklung. Zum Ende der Vegetationsperiode beginnen die Blätter zu altern und die Seneszenz schreitet voran. Daher fällt der K_c -Wert zum Ende der Vegetationsperiode wieder auf einen niedrigen Wert ab.

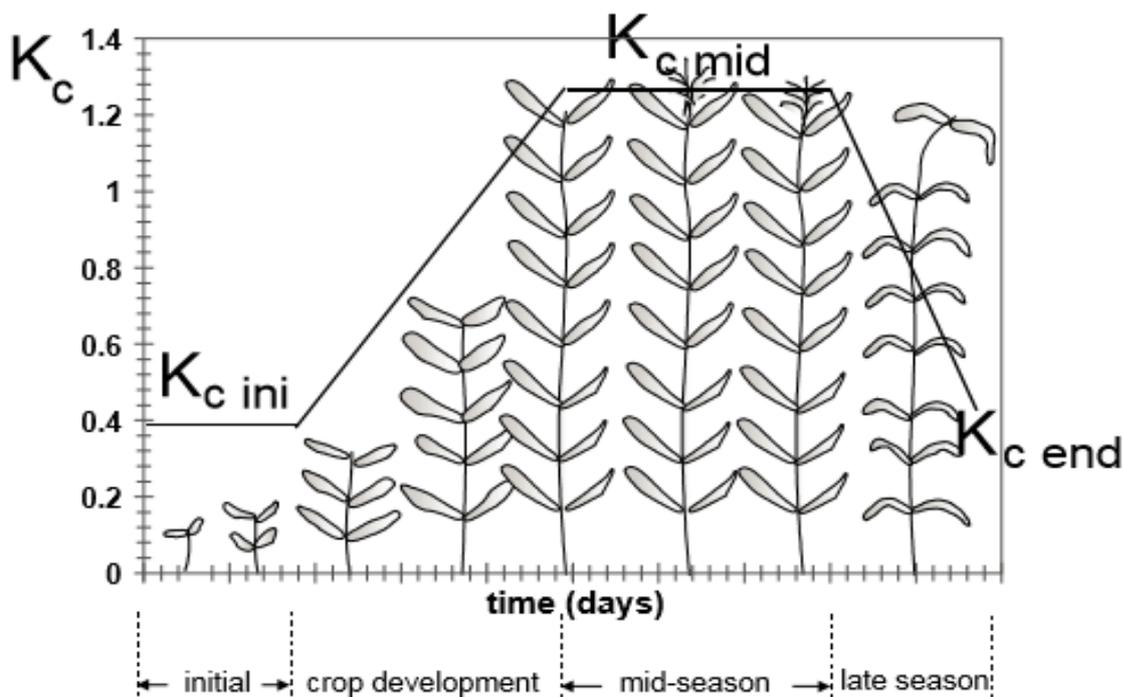


Abb. 12: Allgemeine K_c -Kurve während der Vegetationsphase

Quelle: (ALLEN et al., 1998)

Die Ursache für die differierenden K_c -Werte liegt in der unterschiedlichen Widerstandsfähigkeit der Kulturen bei der Transpiration (ALLEN et al., 1998). Solche, die während des Tages die Stomata schließen (Ananas) oder wächserne Blätter (Zitrusfrüchte) haben, verlieren deutlich weniger Wasser. Ebenso treten Unterschiede in Pflanzenhöhe, Widerstandsfähigkeit, Reflektion und Bodenbedeckung auf, die unterschiedliche K_c -Werte zur Folge haben können (SAVVA and FRENKEN, 2002). Beispielhaft werden typische K_c -Werte für verschiedene Pflanzentypen im ausgewachsenen Zustand aufgezeigt (Abb. 13). So verlieren Gemüsearten und Mais mehr Wasser als die Referenzkultur Gras bei vollständiger Pflanzenentwicklung.

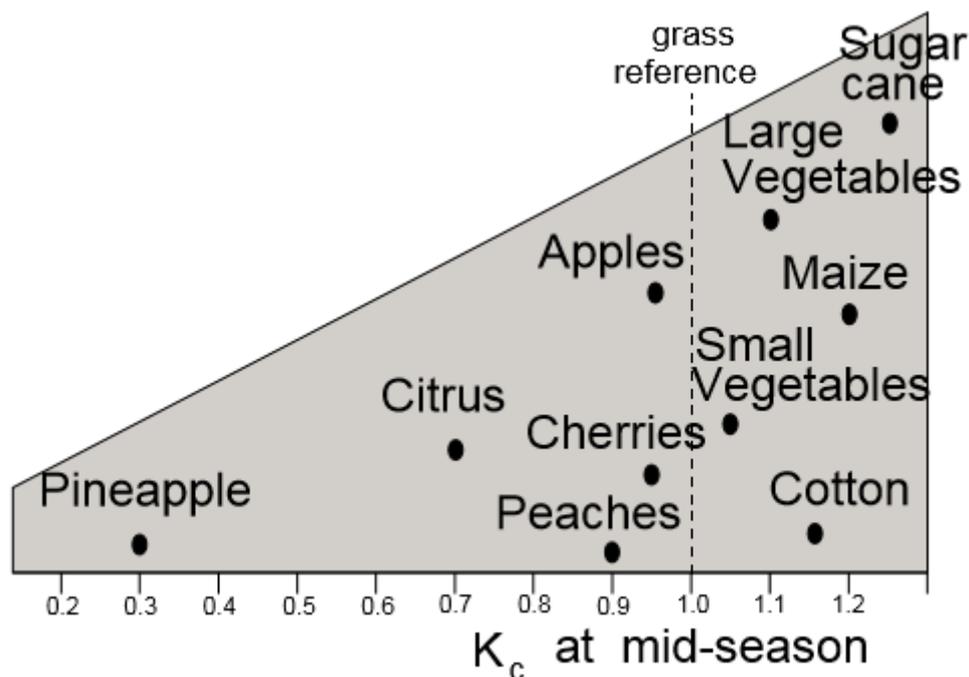


Abb. 13: Typische K_c -Werte für unterschiedliche Pflanzentypen bei vollständiger Pflanzenentwicklung

Quelle: (ALLEN et al., 1998)

Management und Umweltaspekte:

Faktoren wie Bodengesundheit, Bodenfruchtbarkeit, eingeschränkte Düngergaben, verdichtete oder undurchlässige Bodenhorizonte, fehlende Krankheitskontrolle und fehlende Bodenfruchtbarkeit können die Entwicklung der Kultur einschränken und die Evapotranspiration verringern (ALLEN et al., 1998). Andere Faktoren wie Bodenbedeckung, Humusgehalt und Boden-Wasser-Gehalt werden ebenfalls berücksichtigt. Der Effekt des Boden-Wasser-Gehalts auf Evapotranspiration ist abhängig vom Ausmaß des Wassermangels und vom Bodentypen. Zu viel Wasser führt zu einer Vernässung, die die Wurzeln möglicherweise beschädigt und die Wasseraufnahme der Wurzeln durch eingeschränkte Wurzelatmung limitiert.

Insgesamt hat die Berechnung der Referenzverdunstung zwei wesentliche Vorteile (SAVVA and FRENKEN, 2002):

- Vergleichbarkeit verschiedener Jahreszeiten oder Regionen durch Evapotranspiration
- Vergleichbarkeit von verschiedenen Kulturen durch kulturspezifische Koeffizienten (k_c)

2.5.1.2 Geisenheimer Steuerung

Die „Geisenheimer Steuerung“ wurde von der Forschungsanstalt Geisenheim entwickelt (KLEBER, 2014). In mehrjährigen Versuchen wurden für zahlreiche Gemüsearten die k_c -Werte bestimmt. Die k_c -Werte wurden an das Entwicklungsstadium der Kultur angepasst. Zudem wird für die Berechnung der Einzelwassergabe die Bodenart und die Durchwurzelungstiefe der Kultur berücksichtigt.

Die Geisenheimer Steuerung basiert nach KLEBER (2014) auf vier Schritten:

1. Ermittlung der Ausgangsfeuchte
2. Bestimmung der Bewässerungsmenge je Termin
3. Errechnen der täglichen Wasserbilanz
4. Bestimmung des Bewässerungszeitpunkts

Um den Startwert für die Kalkulation zu bestimmen, ist der Boden durch Winterfeuchte, Niederschlag oder Beregnung auf eine nFK von circa 90 % aufzufüllen (HOCHSCHULE GEISENHEIM, 2014). Die Gabenhöhe sollte im Laufe der Vegetation erhöht werden, damit das Wurzelwachstum in tiefere Bodenschichten gefördert wird (PASCHOLD et al., 2010). Die k_c -Faktoren sind im Laufe der Vegetation drei- bis viermal in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium zu verändern. Nachfolgend wird die Erstellung einer Tagesbilanz aufgezeigt (PASCHOLD et al., 2010).

Tägliche Wasserbilanz [mm] = Verdunstung nach FAO [mm] x k_c – Niederschlag [mm]

Die Tagesbilanzen werden in der Gesamtbilanz solange aufsummiert, bis die vorgegebene Beregnungsmenge erreicht wird (HOCHSCHULE GEISENHEIM, 2014) (Tab. 10). Die Beregnungsgabe wird in der Bilanzierung ebenfalls berücksichtigt. Sobald die Niederschläge höher als die Gesamtbilanz sind, wird die Gesamtbilanz auf Null zurückgesetzt.

Tab. 10: Beispielrechnung des Geisenheimer Modells bei Blumenkohl

Datum	FAO-Gras- verdunstung [mm]	kc	Regen [mm]	Tages- bilanz [mm]	Bere- gungs- menge [mm]	Gesamt- bilanz- [mm]
21.7.	4,2	1,1	- 2	2,6	→	2,6
22.7.	5,0	1,1		+ 5,5	← →	= 8,1
23.7.	5,7	1,1		+ 6,3		= 14,4
24.7.	5,2	1,1		+ 5,7		= 20,1
25.7.	3,6	1,1		+ 4,0	- 20	= 4,1
26.7.	2,8	1,7		+ 4,8		= 8,9
27.7.	4,3	1,7	- 35	- 27,7		0,0

Quelle: (HOCHSCHULE GEISENHEIM, 2014)

Das Geisenheimer Modell wurde vom LFULG (2015) nach der Auswertung von mehrjährigen Bewässerungsversuchen bei Zwiebeln unter den gegebenen Boden- und Witterungsbedingungen als „nicht ressourcenschonende Bewässerungssteuerung“ für den Sommerzwiebelanbau in Mitteldeutschland eingeordnet.

2.5.1.3 Boden-Wasser-Modell Weihenstephan

Ein weiteres Modell mit klimatischer Wasserbilanz stellt das Boden-Wasser-Modell Weihenstephan dar (MÜLLER, 2016). Anhand von sechsjährigen LfL-Versuchen (Kartoffeln) und mehrjährigen Versuchen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Kartoffeln, Mais, Zuckerrüben, Winterweizen, Wintergerste, Winterraps) wurde das Boden-Wasser-Modell Weihenstephan kalibriert (MÜLLER et al., 2015).

Auf Basis der berechneten Grasreferenzverdunstung bestimmt das Boden-Wasser-Modell Weihenstephan den täglichen Wasserbedarf (MÜLLER et al., 2015). Das Modell berücksichtigt bei der Berechnung Wetter- und Bodendaten sowie kulturart- und bewässerungsspezifische Kennzahlen. Auf Basis der Bodenfeuchte (% der nFK) wird der Bewässerungsbedarf ermittelt. Wenn eine Entleerung des pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeichers zu dem festgelegten Anteil stattgefunden hat, empfiehlt das Modell den Start der Bewässerung. Um Versickerung von Wasser zu verhindern, berechnet das Modell die Höhe der Einzelwassergabe so, dass die

Böden das Beregnungswasser vollständig pflanzenverfügbar speichern können (MÜLLER et al., 2015).

Für das Jahr 2015 wird eine Auswertung und Beregnungsempfehlung des Boden-Wasser-Modells am Standort Neusling, einem Ort auf der Osterhofener Platte, betrachtet (Abb. 14). Hierbei wurde eine mittlere Beregnungsintensität für Zwiebeln angenommen. Die Witterung war bis Mitte Juni relativ niederschlagsreich (blaue Balken), vereinzelt trat dabei Versickerung von Wasser auf (violette Balken). Ab Mitte Juni blieben die Niederschläge weitgehend aus, sodass im Juli vier Beregnungsgaben mit je 30 mm empfohlen wurden (grüne Balken). Die tägliche Verdunstung wird mittels der orangen Balken angezeigt und die rote Linie gibt Rückschlüsse über den Verlauf der Temperatur.

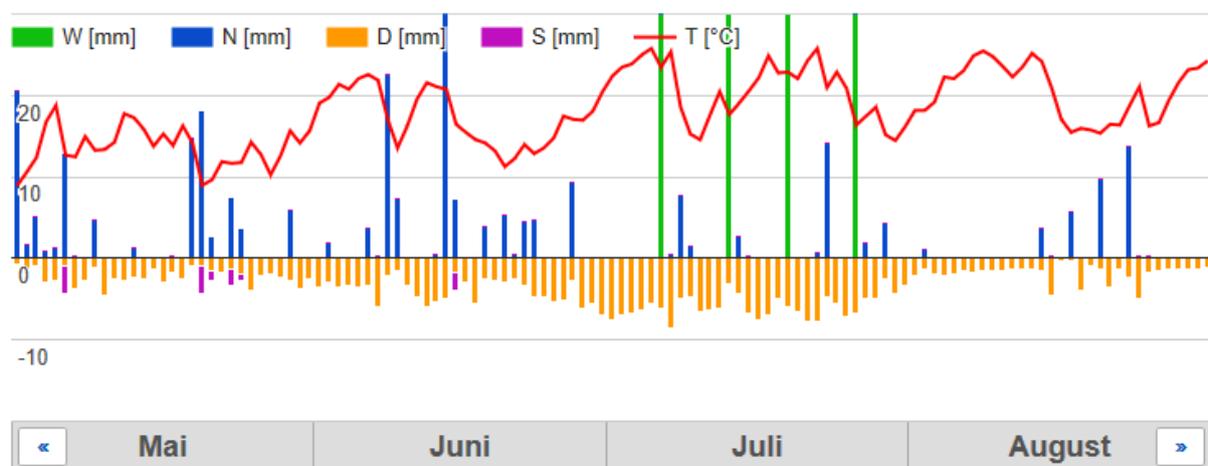
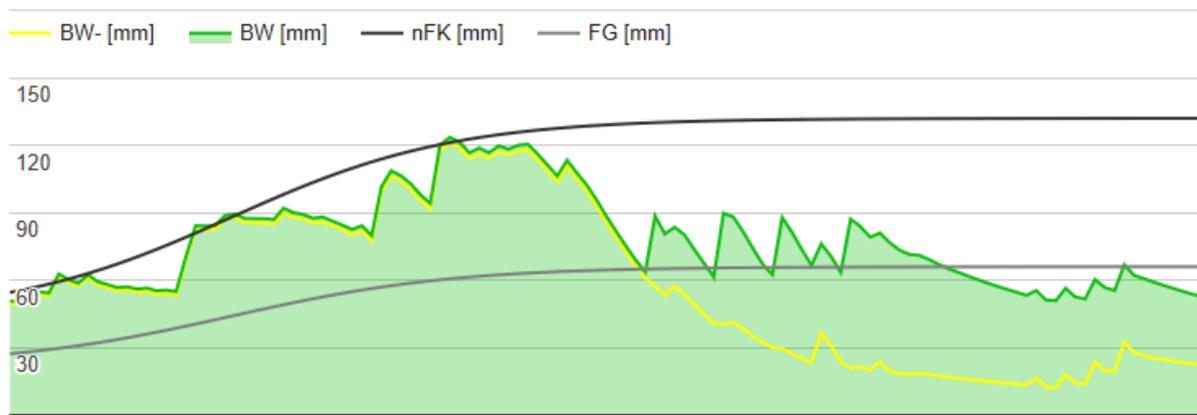


Abb. 14: Boden-Wasser-Modell: Witterungsverlauf und Bewässerungsempfehlung für Zwiebeln am Standort Neusling in 2015

Quelle: (MÜLLER, 2016)

Auf Basis von Abbildung 14 wird ein Ergebnisbericht des Boden-Wasser-Modells betrachtet, der den Verlauf des Bodenwassers und die klimatische Wasserbilanz darlegt (Abb. 15). So steigt die nFk für Zwiebeln bis Ende Juni an, da durch das Wurzelwachstum im Laufe der Vegetation eine Durchwurzelungstiefe von 60 cm erreicht wird und dementsprechend das pflanzenverfügbare Wasser zunimmt (ALLEN et al., 1998). Die gelbe und grüne BW-Linie zeigen den Verlauf des Boden-Wasser-Gehaltes im Boden mit und ohne Bewässerung an. So war der Boden bis Mitte Juni sehr gut mit Wasser versorgt. Aufgrund ausbleibender Niederschläge im weiteren Verlauf der Vegetation war nach dem Unterschreiten der nFK von 50 % (graue FG-Linie) eine Bewässerungsgabe notwendig. Gegen Ende der Vegetation wurde keine weitere Bewässerungsgabe mehr empfohlen. Im Ergebnisbericht werden die Summenwerte für Bewässerung, Niederschläge, Verdunstung und Sickerwasser für den Vegetationszeitraum vom 15. April bis zum 31. August aufgeführt.



Summenwerte von 15.04.2015 bis 31.08.2015

Kennwert	ohne Bewässerung	mit Bewässerung	Zunahme
■ Bewässerung W	0 mm	120 mm	120 mm
■ Niederschlag N	295 mm	295 mm	0 mm
■ Verdunstung D	363 mm	455 mm	92 mm
■ Versickerung S	13 mm	13 mm	0 mm

Abb. 15: Boden-Wasser-Modell: Klimatische Wasserbilanz und Verlauf der Bodenfeuchte bei Zwiebeln am Standort Neusling für das Jahr 2015

Quelle: (MÜLLER, 2016)

Für die wesentlichen Bewässerungskulturen auf der Osterhofener Platte, Kartoffeln, Zwiebeln, Einlegegurken sowie Salat, wurde auf Basis des Boden-Wasser-Modells Weihenstephan der Zusatzwasserbedarf für 2015 berechnet (Tab. 11).

Tab. 11: Berechnung des Zusatzwasserbedarfs für ausgewählte Kulturen auf Basis des Bodenwasser-Modells am Standort Neusling in 2015

Intensität der Bewässerung	Kartoffeln	Zwiebeln	Einlegegurken	Salat [je Satz]
	[l/m ²]	[l/m ²]	[l/m ²]	[l/m ²]
Gering	60	90	192	71
Mittel	90	120	258	92
Hoch	120	150	300	92

Quelle: (ALB BAYERN, 2017)

2.5.2 Messmethoden

Eine weitere Entscheidungshilfe zur Bewässerungssteuerung können Sensoren darstellen. Der Feuchtegrad des Bodens kann direkt durch Sensoren im Boden bestimmt werden und somit sind Aussagen über das pflanzenverfügbare Wasser möglich (KREß, 2014, pp. 49).

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, die Versickerung von Beregnungswasser in tiefere Bodenschichten durch Sensoren zu kontrollieren.

2.5.2.1 Tensiometer

Das Tensiometer stellt die einfachste Methode dar, die Bodenfeuchte über die Saugspannung zu messen (KREß, 2014, pp. 76). Somit ist unabhängig von der Bodenart eine direkte Aussage über den Versorgungszustand der Pflanze mit Wasser möglich. Bei allen Böden und Kulturen sollte die Bewässerung ab einer Saugspannung von -100 hPa in der unteren Wurzelzone gestoppt werden, da ansonsten Versickerung von Wasser und Nährstoffen auftreten kann (KREß, 2014, pp. 76).

Ein Tensiometer besteht aus drei Teilen (KREß, 2014, pp. 50). An der Spitze des Fühlers befindet sich eine wasserdurchlässige Keramikkerze. Diese steht über ein Rohr mit einem Manometer in Verbindung (BECK, 2000, pp. 33). Das mit Wasser gefüllte Rohr ist vakuumdicht verschlossen. Abhängig vom Wassergehalt des Bodens entsteht im Inneren ein mehr oder weniger starker Unterdruck. Der Messbereich für Tensiometer ist bis 800 hPa geeignet (BECK, 2000, pp. 33). Für die Installation muss auf dem Schlag ein repräsentativer Standort in der Nähe der Tropfstelle ausgewählt werden (KREß, 2014, pp. 52). Nur so ist Steuerung einer Tropfbewässerung oder die Kontrolle der Wasserversickerung möglich.

Allerdings führt die Steuerung der Bewässerung über Tensiometer nicht automatisch zu einer wassersparenden Bewässerung (MÜLLER et al, 2016). Wenn die Einschaltpunkte der Bewässerung bei einer Saugspannung von 100 bis 300 hPa gewählt sind, dann ist der Boden immer noch annähernd wassergesättigt und die Pflanze betreibt Luxuskonsum von Wasser. Für eine wassersparende Bewässerung sollten möglicherweise die Schaltpunkte für die Bewässerung neu gewählt werden.

2.5.2.2 Watermark-Sensoren

Ein Beispiel für die Messung der Leitfähigkeit stellen Watermark-Sensoren dar (BECK, 2000, pp. 30). Das Prinzip der Messung beruht darauf, dass im Bodenwasser gelöste Salze den Strom zwischen zwei installierten Elektroden leiten. Abhängig vom Wassergehalt wird ein unterschiedlicher elektrischer Widerstand gemessen. Der Sensor rechnet dann den gemessenen elektrischen Widerstand in Saugspannung um (HOCHSCHULE GEISENHEIM, 2016). Für jede Bodenart muss eine entsprechende Eichkurve bei Watermark-Sensoren erstellt werden. Watermark-Sensoren decken im Vergleich zum Tensiometer einen deutlich größeren Messbereich ab, da die Saugspannung im Bereich zwischen 30 bis 2000 hPa gemessen werden kann (BECK, 2000, pp. 32). Vorteilhaft an Watermark-Sensoren ist zudem, dass diese im Gegensatz zum Tensiometer wartungsfrei und frostsicher sind (KREß, 2014, pp. 54).

2.5.3 Vergleich verschiedener Verfahren der Bewässerungssteuerung

Damit ein Bewässerungssteuerungssystem erfolgreich in die Praxis implementiert werden kann, wird unter anderem eine Nutzung mit geringem Zeitaufwand sowie niedrigem Kapitaleinsatz genannt (LEVIKOW et al, 2014). Nachfolgend werden die wesentlichen Vor- und Nachteile von verschiedenen Modellen mit klimatischer Wasserbilanz sowie Sensoren genannt (Tab. 12).

Sensoren wie beispielsweise Tensiometer können direkt die Bodenfeuchte ermitteln und die Versickerung von Wasser und Nährstoffen kontrollieren (PASCHOLD et al., 2009). Schwierig gestaltet sich bei Sensoren die Auswahl eines repräsentativen Standorts, der maßgeblichen Einfluss auf das Ergebnis der Messung hat. Zudem fallen für den Kauf der Sensoren Kosten an und es entsteht ein Aufwand für Installation und Kontrolle der Messwerte.

Bei Modellen mit klimatischer Wasserbilanz entfallen Wartungs- und Materialkosten (KREß, 2014, pp. 88-89). Außerdem kann die tägliche Verdunstung durch Modelle berechnet werden, wodurch eine gute Kalkulation der Bewässerungsnotwendigkeit in niederschlagsfreien Zeiten möglich ist. Einen Nachteil stellt der Aufwand für die Niederschlagsmessung am Schlag dar, die aufgrund von lokal unterschiedlichen Niederschlagsmengen schlagspezifisch durchgeführt werden sollte.

International ist das IRRINET-System zur Bewässerungssteuerung in Italien verbreitet (MANNINI et al., 2013). Den Landwirten in Australien steht das webbasierte Steuerungssystem „water sense“ für die Beregnung von Zuckerrohr zur Verfügung (INMAN-BAMBER et al., 2007). Die australischen Bewässerungsbetriebe können ebenfalls mit dem System IrriSATSMS arbeiten (HORNBuckle et al, 2009). Die Landwirte in den USA können eine Smartphone-App zur Bewässerungssteuerung für Kulturen wie Baumwolle oder Erdbeeren nutzen (USDA, 2017).

Tab. 12: Vergleich der Bewässerungssteuerung auf Basis von Sensoren und Modellen mit klimatischer Wasserbilanz

Methode	Vorteile	Nachteile
Messen der Bodenfeuchte	<ul style="list-style-type: none"> - Direkte Ermittlung der aktuellen Bodenfeuchte - Keine Niederschlagsmessung am Schlag notwendig - Möglichkeit der Automatisierung bei Tropfbewässerung - Bei Einsatz mehrerer Sensoren Störungen bei der Wasserverteilung erkennbar - Kontrolle der Versickerung möglich 	<ul style="list-style-type: none"> - Auswahl eines repräsentativen Standortes schwierig. Schläge teilweise heterogen, daher viele Sensoren erforderlich. - Für jeden Schlag gesonderte Messungen notwendig - Kosten für Sensoren - Aufwand für Installation und Deinstallation - Aufwand zum Erfassen der Messwerte/ Kontrollaufwand - Sensoren nur bei Tropfbewässerung geeignet - Oft nur ein Jahr funktionstüchtig
Modelle mit klimatischer Wasserbilanz	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Material- und Wartungskosten - Basiswerte der Verdunstung für alle Kulturen in einer Region gültig - Bewässerungsnotwendigkeit in niederschlagsfreien Perioden gut kalkulierbar - Berücksichtigung von Wetterprognosen möglich 	<ul style="list-style-type: none"> - Bestimmung der Bodenfeuchte vor Beginn der Beregnung notwendig - Niederschlagsmessung in Schlagnähe erforderlich - Schätzung des kapillaren Aufstiegs notwendig - Korrektur der k_c-Werte teilweise erforderlich

Quellen: (PASCHOLD et al., 2009), (KREß, 2014, pp. 88-89), (GRAMM, 2014, pp. 38)

2.6 Organisation der Wasserbereitstellung durch Verbände

Die Bereitstellung von Beregnungswasser kann von Wasserverbänden übernommen werden. So wurde beispielsweise der Wasserverband Knoblauchland im Jahr 1960 gegründet, um die vor Ort bestehende Bewässerungsproblematik zu lösen sowie die Erzeugung von regionalem Gemüse sicher zu stellen (WASSERVERBAND KNOBLAUCHSLAND, 2016). Seit 2005 wird durch die Beileitung von Wasser aus Regnitztal eine Fläche von 850 Hektar mit durchschnittlich 2.000.000 m³ pro Jahr versorgt. Dieses Projekt wurde aufgrund der Übernutzung des oberen Grundwasservorkommens realisiert. Die Baukosten betragen 16,5 Millionen Euro, wobei die Finanzierung des Projekts zu 50 % durch staatliche Zuschüsse und zu 50 % durch Eigenbeteiligung der Mitglieder erfolgte.

Der Wasserverband Knoblauchsland ist eine Körperschaft des öffentlichen Rechts (STADT NÜRNBERG, 1999). Die Aufgabe des Verbandes stellt die Bereitstellung von Betriebswasser für die Mitglieder dar. Mitglieder des Verbandes können Grundstückseigentümer, Pächter sowie Eigentümer von Grundstücken, die nur Anlagen zu dulden haben (duldende Mitglieder), sein. Der Verband verwaltet sich unter eigener Verantwortung durch seine Organe (REGIERUNGSPRÄSIDIUM DARMSTADT, 2015). Die Organe des Verbandes stellen die Verbandsversammlung und der Verbandsvorstand dar, wobei der Verbandsvorstand für fünf Jahre von der Verbandsversammlung gewählt wird (STADT NÜRNBERG, 1999). Den Vorsitz im Verbandsvorstand hat der Verbandsvorsteher inne. Dieser stellt die gerichtliche und außergerichtliche Vertretung des Verbandes dar.

Die Wasserbereitstellung durch Beregnungsverbände hat verschiedene Vor- und Nachteile, welche nachfolgend aufgeführt werden (Tab. 13).

Tab. 13: Vor- und Nachteile von Beregnungsverbänden

Vorteile	Nachteile
Körperschaft des öffentlichen Rechts (Behörden)	Formale Anforderungen (Verbandsversammlung, Haushaltspläne)
Beiträge sind öffentliche Lasten	Verwaltungsaufwand von Mitgliedern zu bezahlen
Über Dachverband ist die Verteilung „allgemeiner Lasten“ auf alle Verbandsmitglieder möglich	Durchgriffsmöglichkeiten des Dachverbandes auf Einzelmitglieder sind sehr begrenzt
Dachverband kann Gutachten, Wasserrechanträge und Modellvorhaben organisieren	Hoher Organisationsaufwand im Dachverband durch viele Einzelregner
Zugriffsrecht auf Grundstücke (z.B. für besondere gemeinsame Anlagen)	
Gute Konditionen bei Finanzierung über günstige Kommunalkredite	
Bei Krediten keine Eintragungen ins Grundbuch notwendig	
Geringerer Aufwand für Wasserbehörden, da weniger Ansprechpartner	

Quelle: (AST et al., 2014)

In Bayern ist „die Aufgabe der Beschaffung und Bereitstellung von Betriebswasser für Zwecke der Land- und Forstwirtschaft und des Gartenbaus zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit aus Oberflächengewässern und aus Uferfiltrat als Aufgabe nach § 2 Nr. 11 WVG für neue Wasser- und Bodenverbände im Sinn von § 1 WVG zugelassen“ (BAYERISCHE STAATSREGIERUNG, 1999). Die Folge dieser Verordnung ist, dass es keine rechtliche Grundlage zur Gründung eines Beregnungsverbandes gegeben ist, der das Beregnungswasser aus dem Grundwasser entnimmt.

3 Zielstellung

Im Rahmen der Masterarbeit sollen auf Basis von Experteninterviews mit verschiedenen Interessensgruppen die IST-Situation auf der Osterhofener Platte analysiert und Optimierungsmöglichkeiten des Bewässerungsmanagements unter Berücksichtigung von regionalen und gesellschaftlichen Gesichtspunkten abgeleitet werden.

Diesbezüglich werden erfahrene Betriebsleiter, Behörden, Berater und Vertreter der Wissenschaft zu ihren Berührungspunkten mit der Bewässerung auf der Osterhofener Platte im Rahmen von Experteninterviews befragt. Externe Experten wurden aus dem Knoblauchsland und Hessen hinzugezogen, damit Vergleiche mit anderen Regionen herausgearbeitet werden können.

Auf Basis der Interviews kann die IST-Situation auf der Osterhofener Platte bewertet werden. Hierbei werden Bewässerungstechnik, Bewässerungssteuerung, Wasserrechte sowie Wasserbeschaffung analysiert. Ebenso werden mögliche pflanzenbauliche Maßnahmen zur Reduzierung des Wasserverbrauchs, sowie die gesellschaftliche Akzeptanz der Beregnung erörtert. Auf Grundlage der Analysen zur IST-Situation werden Strategien zur Verbesserung des Bewässerungsmanagements aus regionaler und gesellschaftlicher Sicht abgeleitet. Diese werden auf Umsetzbarkeit und Sinnhaftigkeit evaluiert. Insbesondere wird erörtert, inwieweit theoretische Überlegungen zur Reduzierung des Wasserbedarfs und zur Steigerung der Wassernutzungseffizienz in die Praxis umgesetzt werden können. Abschließend wird ein Ausblick auf künftige Herausforderungen an das Bewässerungsmanagement sowie weitere Entwicklungen der Bewässerungsfläche formuliert.

4 Material und Methoden

4.1 Überblick über Methodik

Ein Überblick über die Methodik der Datenerhebung und die Beantwortung der Forschungsfrage wird nachfolgend gegeben (Abb. 16).

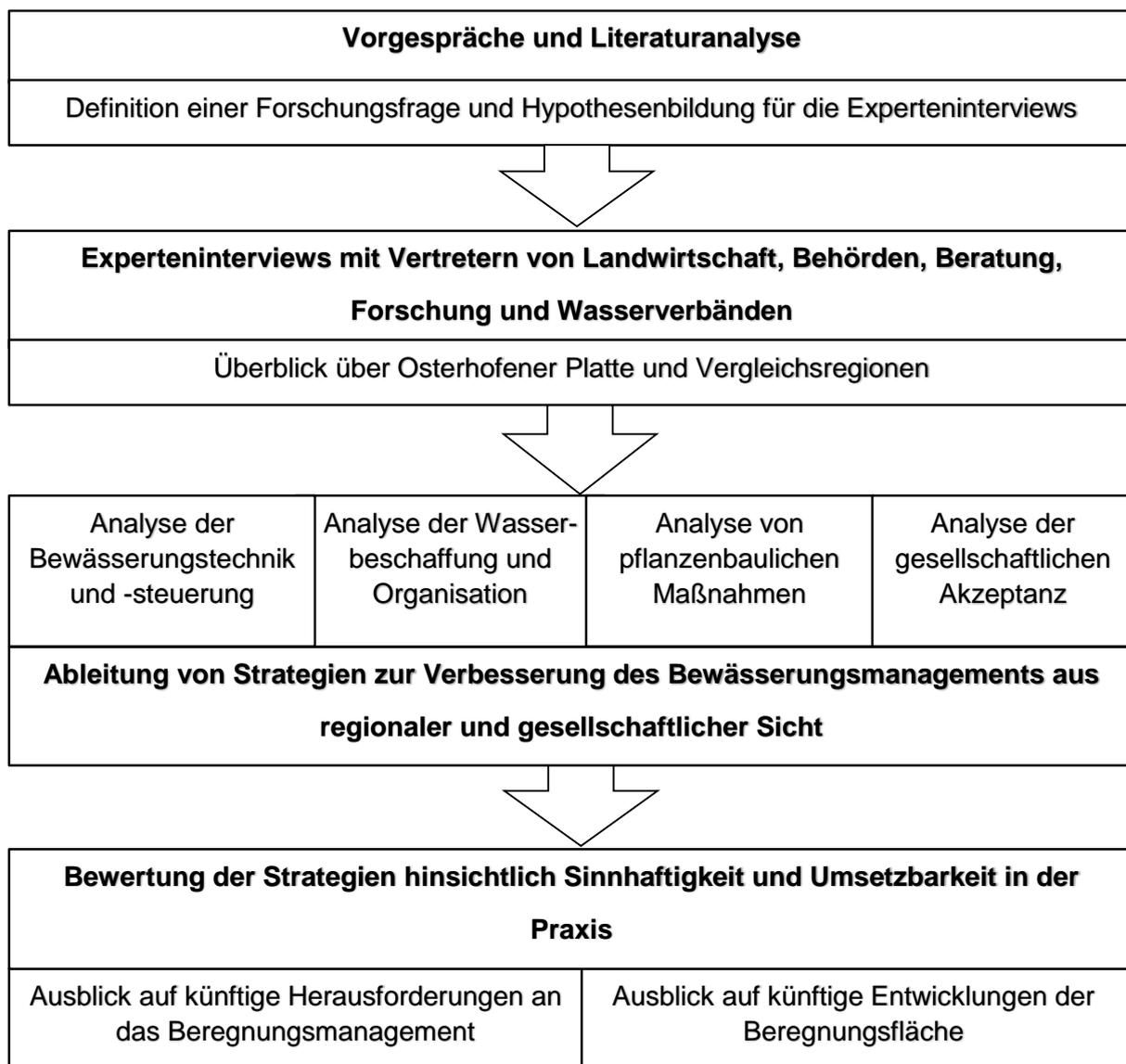


Abb. 16: Vorgehensweise bei der Erhebung der Daten zur Beantwortung der Forschungsfrage

Zu Beginn der Arbeit wurde sich intensiv mit der Durchführung eines Verdunstungsversuches bei der Beregnung von Zwiebeln beschäftigt. Allerdings bestanden erhebliche Zweifel an der wissenschaftlichen Eignung eines solchen Verdunstungsversuches, was eine Neuausrichtung der Zielstellung notwendig machte. Somit wurde die Forschungsfrage dahingehend angepasst, wie das Bewässerungsmanagement unter Berücksichtigung von regionalen und gesellschaftlichen Aspekten auf der Osterhofener Platte verbessert werden kann.

Durch die Literaturanalyse konnte sich ein umfassender Überblick über das Themenfeld der Bewässerung verschafft werden. Um die regionale und gesellschaftliche Komponente des Bewässerungsmanagements im Rahmen der Thesis zu analysieren und Strategien zur Verbesserung des Bewässerungsmanagements abzuleiten, konnte im Rahmen der Sekundärforschung keine ausreichende Datengrundlage für die Beantwortung der Forschungsfrage herangezogen werden. Daher wurde eine Datenerhebung mittels Primärforschung notwendig (KOCH, 1996, pp. 60). Hierbei wurde als Erhebungselement ein fundiertes Experteninterview gewählt, welches im Forschungsdesign eine zentrale Stellung einnimmt (BOGNER et al., 2014, pp. 22). Auf Basis von theoriegenerierenden Experteninterviews, welche explizit den qualitativen Forschungsmethoden zugerechnet werden, wurden die Experten als Vertreter einer bestimmten Gruppe wie beispielsweise Beratung oder Forschung befragt (BOGNER et al., 2014, pp. 25).

Auf Basis der Experteninterviews kann die IST-Situation auf der Osterhofener Platte analysiert und können Strategien zur Verbesserung des Bewässerungsmanagements auf regionaler und gesellschaftlicher Sicht abgeleitet werden (Abb. 16). Somit werden Umsetzbarkeit und Sinnhaftigkeit der Strategien auf die Praxis bezogen und mögliche Herausforderungen sowie künftige Entwicklungen für die Bewässerungsbetriebe herausgearbeitet werden.

4.1.1 Sekundärforschung

Im Rahmen der Literaturrecherche wurde sich umfassend in das Themenfeld „Bewässerung“ eingearbeitet. Hierbei wurde vor allem auf wissenschaftliche Artikel zurückgegriffen, die sich speziell mit der Bewässerungstechnik, der Bewässerungssteuerung, dem Zusatzwasserbedarf von Kulturen und den Möglichkeiten zur Steigerung der Wassernutzungseffizienz befassten. Die beschriebene Literatur wird im vorhergehenden Teil der Arbeit detailliert aufgeführt.

4.1.2 Primärforschung im Rahmen von Experteninterviews

4.1.2.1 Einordnung und Begründung der Methodenauswahl

Experteninterviews werden der qualitativen Markt- und Sozialforschung zugeschrieben. Diese Erhebungsmethode wird der Befragung zugeordnet, welche neben der Beobachtung und dem Experiment zu den drei wichtigsten Methoden der Datenerhebung in der Primärforschung zählt (KOCH, 1996, pp. 60). So definiert KAISER (2014) qualitative Experteninterviews als „ein systematisches und theoriegeleitetes Verfahren der Datenerhebung in Form der Befragung von Personen, die über exklusives Wissen (...) verfügen“. Die Experten können entweder ein

Teil des Untersuchungsfeldes sein oder auch als Informationsquelle über die Zielgruppe dienen (BOGNER et al., 2014, pp. 22-24).

Nach BOGNER et al. (2014) kann zwischen technischem Wissen, Prozess- und Deutungswissen unterschieden werden, welches im Rahmen der Experteninterviews gewonnen wird. Technisches Wissen basiert vor allem auf Daten, Fakten und Tatsachen, zu welchem der Forscher keinen oder erschwerten Zugang hat (BOGNER et al., 2014, pp. 17-22). Beim Prozesswissen kann Einsicht in Handlungsabläufe, Interaktionen, Ereignisse und organisatorische Konstellationen gewonnen werden, an dem der Experte beteiligt ist. Beim Deutungswissen werden subjektive Relevanzen, Sichtweisen, Interpretationen, Deutungen und Erklärungsmuster der Experten behandelt.

Innerhalb der Experteninterviews kann, je nach Stellenwert für das Forschungsdesign, in mehrere unterschiedliche Varianten untergliedert werden (BOGNER et al., 2014, pp. 22-25). Wenn das Experteninterview nicht die zentrale Erhebungsmethode im Rahmen einer Untersuchung darstellt, sondern lediglich eine felderschließende, ergänzende Funktion übernimmt, dann handelt es sich um ein „exploratives“ Experteninterview. Im Gegensatz dazu nimmt beim „fundierten“ Experteninterview das Experteninterview eine zentrale Stellung im Forschungsdesign ein und wichtige Erklärungen, Begründungen und Zusammenhänge werden auf Basis der Interviews wissenschaftlich erarbeitet. Das fundierte Experteninterview kann in ein systematisierendes sowie theoriegenerierendes Experteninterview untergliedert werden (BOGNER et al., 2014, pp. 23-25). Im systematisierenden Experteninterview steht die Informationsgewinnung im Vordergrund. So hat der Experte mehr die Funktion eines „Ratgebers“ inne und der Interviewer lernt direkt vom Experten. Dagegen steht beim theoriegenerierenden Experteninterview die „subjektive Dimension“ des Expertenwissens im Mittelpunkt. Hierbei zielt das Interview auf das Deutungswissen des Experten ab und dieser wird in der Regel als Vertreter einer bestimmten Gruppe befragt (BOGNER et al., 2014, pp. 25).

Die vorgestellten Formen werden als leitfadengestützte Interviews durchgeführt. So kann je nach Grad der Standardisierung zwischen einem standardisierten, einem halbstandardisierten und einem nicht-standardisierten Interview unterschieden werden (GLÄSER and LAUDEL, 2010, pp. 37-43).

Im Rahmen der Masterthesis soll, wie bereits in der Zielstellung formuliert, die Forschungsfrage beantwortet werden, wie das Bewässerungsmanagement auf der Osterhofener Platte verbessert werden kann. Im Rahmen der Sekundärforschung wurden diesbezüglich viele theoretische Ansätze recherchiert, allerdings konnte keine ausreichende Datengrundlage für die Beantwortung der Forschungsfrage generiert werden, insbesondere, da in der Literatur kein ausreichender Praxisbezug gegeben war. Somit konnte auch kein

ausreichender Kontext zu Problemen und künftigen Herausforderungen der Bewässerungsbetriebe hergestellt werden, um daraus Potentiale zur Optimierung ableiten zu können. Daher wurde eine Datenerhebung durch Primärforschung notwendig. Hierbei ermöglichen Experteninterviews eine „konkurrenzlos dichte Datengewinnung“ im Vergleich zu anderen Untersuchungsformen (BOGNER et al., 2005, pp. 7-9). Im Rahmen von Experteninterviews wird dem Forscher das besondere Wissen „der in die Situation und Prozesse involvierten Menschen zugänglich gemacht“ (GLÄSER and LAUDEL, 2010, pp. 13). Zu diesem privilegierten Wissen haben nur Experten in vollem Umfang Zugriff. Somit stellen Experteninterviews die geeignetste Form der Datenerhebung zur Beantwortung der Forschungsfrage dar, da Interviews mit Experten aus Landwirtschaft, Behörden, Beratung, Forschung und Wasserverband ihre Einschätzung zum Bewässerungsmanagement der Landwirte abgaben und somit eine sehr fundierte Datengrundlage zur Beantwortung der Forschungsfrage generiert werden konnte. Als Erhebungselement wurde ein fundiertes Experteninterview gewählt, da das Experteninterview im Forschungsdesign eine zentrale Stellung einnimmt und die wesentliche Quelle der Datenerhebung im Rahmen der Arbeit darstellt (BOGNER et al., 2014, pp. 22). Bei der genauen Einordnung wurde die theoriegenerierende Form erläutert, bei welcher die „subjektive Dimension“ des Expertenwissens im Vordergrund steht (BOGNER et al., 2014, pp. 25). Hierbei wird auf das Wissen zu „Handlungsorientierungen, impliziter Entscheidungsmaxime, handlungsanleitenden Wahrnehmungsmustern sowie Routinen“ der Experten abgezielt. Insbesondere von Bedeutung ist, dass der Experte als Vertreter einer Gruppe betrachtet werden kann. Auf Basis von theoriegenerierenden Experteninterviews können nach analytischer und interpretativer Auseinandersetzung mit dem Material Zusammenhänge erarbeitet und Theorien entwickelt werden.

4.1.2.2 Auswahl der Experten

BOGNER et al (2014) definieren den Experten folgendermaßen: „Experten lassen sich als Personen verstehen, die sich - ausgehend von einem spezifischen Praxis- und Erfahrungswissen, das sich auf einen klar begrenzten Problembereich bezieht – die Möglichkeit geschaffen haben, mit ihren Deutungen das konkrete Handlungsfeld sinnhaft und handlungsleitend für Andere zu strukturieren.“ Beim Expertenwissen ist entscheidend, dass dieses theoretische Wissen auch „in besonderem Ausmaß praxiswirksam wird“ (BOGNER et al., 2014, pp. 10-13). Um dieses Wissen für die Beantwortung der Forschungsfrage zu gewinnen, wird bestimmten Personen der Expertenstatus zugeschrieben.

Für die Experteninterviews in der vorliegenden Arbeit wurde insgesamt bei 16 Experten für ein Interview angefragt, wobei mit 15 Experten tatsächlich ein Gespräch geführt wurde. Der

Großteil der Experten hat sein Tätigkeitsfeld auf der Osterhofener Platte, sodass die regionale Komponente der Forschungsfrage ausreichend berücksichtigt wird. Auf die Durchführung eines Interviews wurde aus Zeitmangel und mangelnder Auskunftsbereitschaft des Experten verzichtet.

4.1.2.3 Erstellung des Gesprächsleitfadens

Die durchgeführten explorativen Experteninterviews sind als teilkonstruierte und leitfadengestützte Interviews einzuordnen (BOGNER et al., 2014, pp. 27). Der Leitfaden sorgt für eine Strukturierung der Themenfelder und bietet eine Orientierungshilfe in der Interviewsituation.

Die genutzten Leitfäden können als halbstandardisiert typisiert werden. So wurden die Fragen in Reihenfolge und Wortlaut vorformuliert, wobei die Antworten nicht vorgegeben werden. In der Arbeit wurde bei der Konstruktion der Leitfäden folgendermaßen vorgegangen (Abb. 17).

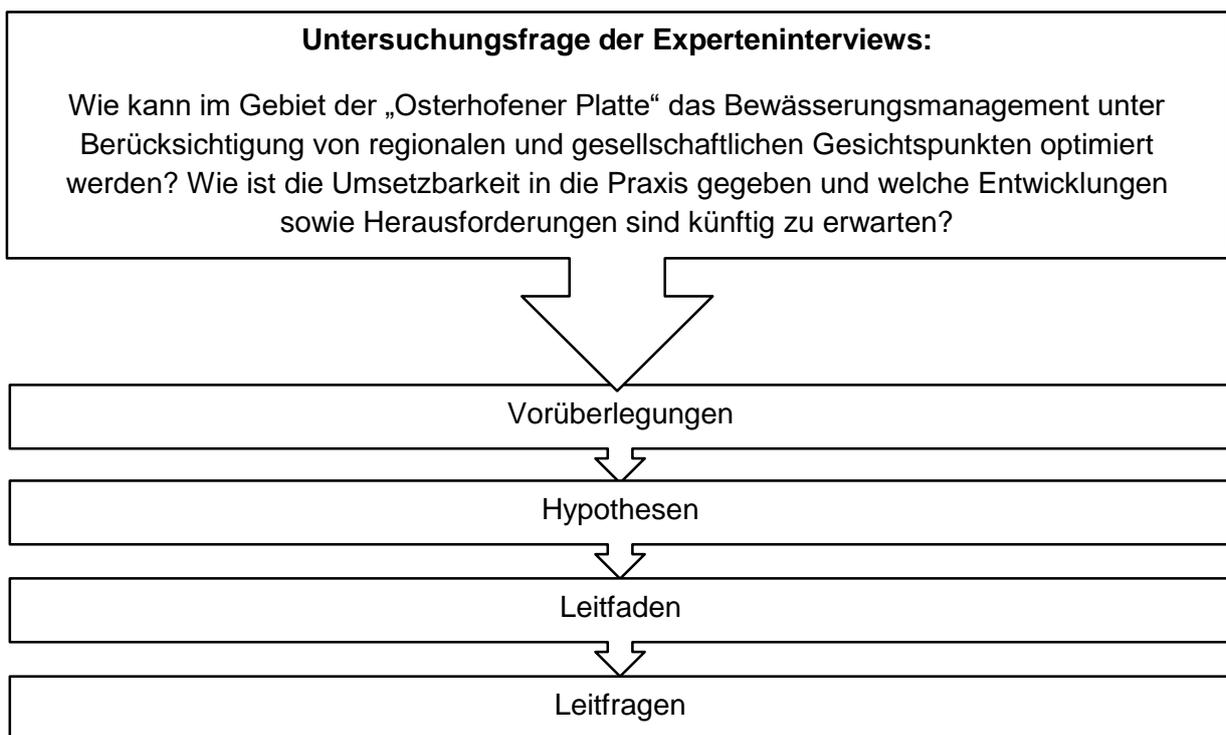


Abb. 17: Vorgehensweise bei der Erstellung der Leitfäden für die Experteninterviews

Quelle: Eigene Darstellung nach (GLÄSER and LAUDEL, 2010, pp. 61-109)

Im ersten Schritt wurde die Untersuchungsfrage für die Experteninterviews formuliert. Anschließend wurden auf Basis von Vorüberlegungen die Hypothesen konstruiert. Zur Überprüfung der Hypothesen wurden Leitfragen erstellt, die wiederum die Grundlage für den endgültigen Leitfaden darstellten.

Der in den Experteninterviews verwendete Leitfaden stützt sich im Aufbau auf BOGNER und NAGL (2014). Für die Beantwortung der Forschungsfrage war eine Gruppierung der Experten notwendig. Diesbezüglich wurden die Leitfadenfragen gezielt an das jeweilige Expertenfeld angepasst. Hierfür wurden die Leitfadenfragen in spezifische Themenblöcke gruppiert. Insgesamt wurden zwölf Themenblöcke erstellt, die den entsprechenden Expertenfeldern zugeordnet wurden (Tab. 14).

Tab. 14: Aufbau der Leitfäden für die verschiedenen Expertenfelder

Expertenfeld	Anzahl der Experten	Themenblöcke des Leitfadens
Landwirte	8	Allgemein IST-Situation bei den Landwirten Optimierungsmöglichkeiten der Bewässerung Umsetzbarkeit in der Praxis Ausblick
Behörden	2	Allgemein IST-Situation bei den Behörden Optimierungsmöglichkeiten der Bewässerung Empfehlungen für die Praxis Ausblick
Beratung	1	Allgemein IST-Situation bei der Beratung Optimierungsmöglichkeiten der Bewässerung Empfehlungen für die Praxis Ausblick
Wissenschaft	2	Allgemein IST-Situation bei der Wissenschaft Theoretische Optimierungsmöglichkeiten der Bewässerung Empfehlungen für die Praxis Ausblick
Externe Vergleichsregion Knoblauchsland	1	Allgemein IST-Situation im Wasserverband Knoblauchsland Ausblick
Externe Vergleichsregion Hessen	1	Allgemein IST-Situation bei der Beratung in Hessen Optimierungsmöglichkeiten der Bewässerung Empfehlungen für die Praxis Ausblick

Da alle interviewten Experten über ein großes Wissen zum Thema Bewässerung verfügen, enthält jeder Leitfaden mehrere ähnliche Themenblöcke, die spezifisch an die einzelnen Expertenfelder angepasst wurden. Aufgrund der vergleichbaren Fragestellungen wird eine Einschätzung zur Situation der Betriebe von mehreren Seiten gegeben und folglich gewinnen die Ergebnisse der Experteninterviews an Aussagekraft. Ein bis zwei Themenblöcke wurden bei jedem Leitfaden spezifisch auf das Expertenfeld zugeschnitten. Die Leitfäden für die Experteninterviews umfassen sieben bis neun Leitfragen, die teilweise in mehrere Teilfragen untergliedert sind.

Der Leitfaden ist so aufgebaut, dass zuerst durch einfache, offene Fragen der Redefluss des Experten gegeben ist und somit die erste Unsicherheit überwunden wird. Komplexere und möglicherweise für die Experten sensible Themengebiete werden am Ende des Interviews behandelt. Die detaillierte Konstruktion eines Leitfadens, der bei der Expertengruppe „Landwirte“ angewandt wurde, kann dem Anhang entnommen werden.

Bevor der Leitfaden in den Experteninterviews verwendet wurde, fand am 27.10.2016 der Pretest mit Dr. Martin Müller statt. Der Pretest wurde durchgeführt, um die Struktur und Logik des Leitfadens zu testen, da die Interviews mit den Experten nicht wiederholbar sind. Auf Anraten von Dr. Müller wurde die Formulierung einer Frage geändert und eine Frage neu in den Leitfaden aufgenommen.

4.1.2.4 Durchführung der Experteninterviews

Im Zeitraum vom 31.10.2016 bis zum 16.12.2016 wurden die Experteninterviews von Hubert Vandieken durchgeführt. Die Kontaktaufnahme mit den Experten erfolgte telefonisch. Vorab wurde diesen der Leitfaden zugesendet, damit sich die Gesprächspartner auf das Interview vorbereiten konnten. 13 Interviewpartner wurden persönlich am Arbeitsplatz des Experten befragt, ein Interview wurde telefonisch durchgeführt und ein Leitfaden wurde schriftlich ausgefüllt. Das Telefoninterview war notwendig, da eine persönliche Befragung aufgrund der großen räumlichen Entfernung zum Experten nicht möglich war. Die schriftliche Antwortform wurde von einem Experten gewählt, da dieser unter Zeitdruck stand. Die Interviews dauerten durchschnittlich 95 Minuten, hierbei lagen die Extrema bei 45 und 150 Minuten. Die Aufnahme der Experteninterviews mit dem Diktiergerät war ursprünglich geplant, allerdings wurde dies beim ersten Gesprächstermin abgelehnt. Daraufhin wurde in den weiteren Gesprächen auf eine Aufnahme mit dem Tonband verzichtet. Somit gaben die Experten möglicherweise sensible Informationen preis, die sie ansonsten unter einer „Beobachtungssituation“ im Rahmen einer Interviewaufzeichnung vorenthalten hätten. Die Aufzeichnung der Informationen erfolgte bereits während des Gespräches durch Notizen im Leitfaden. Dieser wurde unverzüglich nach Beendigung des Gespräches auf Basis der Notizen und des Gedächtnisprotokolls vervollständigt. Durch die erinnerungsbasierte Fixierung von Befragungsergebnissen konnten Eindrücke festgehalten werden, die möglicherweise bei einer Tonbandaufnahme nicht berücksichtigt worden wären (KAISER, 2014, pp. 94-95). Nachträglich wurde den Experten der bearbeitete Leitfaden zugeschickt, um möglicherweise Ergänzungen vornehmen zu können. Dies war von Seiten einzelner Experten gewünscht, da einigen Experten schlechte Erfahrungen mit falschen Darstellungen in der Presse widerfahren sind.

4.1.2.5 Auswertung der Experteninterviews

Bei der Auswertung der Experteninterviews wurde sich am sechsstufigen Konzept von MEUSER und NAGEL (1989) orientiert.

- *Transkription:* Da die Interviews auf Basis von Notizen im Leitfaden und einem Gedächtnisprotokoll vervollständigt wurden, war keine vollständige Transkription des Interviews möglich, sondern wurden nur der zur Klärung der Untersuchungsfrage notwendigen Informationen transkribiert.
- *Paraphrase:* Im Rahmen der Paraphrasierung wurde das Textmaterial erstmalig verdichtet. Das Transkript wird auf Basis des chronologischen Gesprächsverlaufes paraphrasiert. Für den Umfang der Paraphrasierung ist die Bedeutung des Themas zur Beantwortung der Forschungsfrage entscheidend, nicht die im Gespräch aufgewendete Zeit zur Beantwortung der Frage.
- *Überschriften:* Durch die Bildung von Überschriften wird das Textmaterial weiter verdichtet und thematisch geordnet. Hierbei werden den unterschiedlichen Sequenzen repräsentative Überschriften zugeordnet.
- *Thematischer Vergleich:* Im diesem Schritt werden Passagen aus verschiedenen Interviews mit gleichen oder ähnlichen Themen zusammengestellt und Überschriften werden vereinheitlicht. Da in diesem Schritt das Datenmaterial stark verdichtet wird, ist eine Überprüfung und gegebenenfalls eine Revision der Zuordnung vorzunehmen.
- *Soziologische Konzeptualisierung:* Begriffe und Überschriften werden so ins soziologische übersetzt, dass eine allgemeinere, disziplinäre Diskussion ermöglicht wird. „Ziel ist eine Systematisierung von Relevanzen, Typisierungen, Verallgemeinerungen, Deutungsmustern.“
- *Theoretische Generalisierung:* In diesem Schritt wird sich endgültig vom Experteninterview losgelöst und es folgt eine Generalisierung der Kategorien. Somit entstehen neue Theorien und Hypothesen, die im nachfolgenden Teil der Masterthesis geprüft werden sollen.

4.2 Darstellung der Osterhofener Platte

4.2.1 Geografische Lage

Die Osterhofener Platte liegt im südwestlichen Teil des Landkreises Deggendorf und hat eine Größe von 8997 Hektar (MAUSSNER, 2016b). Hiervon werden 8426 Hektar landwirtschaftlich genutzt. Im nordwestlichen Teil der Osterhofener Platte stellt die Isar die Grenze dar, im Süden bildet das Waldgebiet „Forstharter Rücken“ die Grenze und im Osten reicht das Gebiet bis nach Moos und Osterhofen (Abb. 18).



Abb. 18: Geographische Darstellung der Osterhofener Platte

Quelle: (MAUSSNER, 2016b)

4.2.2 Boden und Klima

Auf der Osterhofener Platte liegt hauptsächlich Parabraunerde aus Löss oder Lösslehm über verschiedenen Gesteinen vor (KREß, 2014, pp. 11-12). Mit einer nutzbaren Feldkapazität von 22 bis 25 % haben die Böden ein hohes Wasserspeichervermögen und sind sehr gut für den Acker- und Gemüsebau geeignet. Die gesamte Osterhofener Platte kennzeichnen relativ homogene Bodenverhältnisse und ein hohes Potential zur Wasserspeicherung (TREISCH, 2016). Nachfolgend wird die durchschnittliche nFK für die Osterhofener Platte aufgezeigt (Tab. 15).

Tab. 15: Durchschnittliche nFK der Osterhofener Platte bei unterschiedlichen nFK-Stufen

nFK	[30 cm]	[40 cm]	[60 cm]	[100 cm]
l/m	69,4	88,1	121,3	174,8

Quelle: (TREISCH, 2016)

Die nFK beträgt bei einer Tiefe von 60 cm im Durchschnitt 121,3 l/m² (TREISCH, 2016). Dies ist für Kartoffeln sowie Zwiebeln eine wichtige Information, da diese Kulturen eine Durchwurzelungstiefe von 60 cm erreichen (LFL, 2008, pp. 8). Die nachfolgende Abbildung

Tab. 16: Wetterdaten der Wetterstation Neusling

Jahr		2012	2013	2014	2015	2016	1990-2016
Ø Temperatur	[°C]	9,5	8,9	10,2	10,0	9,5	9,0
Niederschlag	[mm]	865	694	613	569	775	739
Klimatische Wasserbilanz	[mm]	166	43	-48	-137	112	81

Quelle: (AGRARMETEOROLOGIE BAYERN, 2017)

4.2.3 Anbauverhältnis der Kulturen

Die Osterhofener Platte verfügt über 8426 Hektar landwirtschaftlich nutzbare Fläche (MAUSSNER, 2016a). Die flächenmäßig bedeutendste Kultur ist Winterweizen, gefolgt von Mais und Zuckerrüben (Abb. 20). Knapp 1100 Hektar an potentiellen Beregnungskulturen wurden in 2016 auf der Osterhofener Platte angebaut. Unter potentiellen Beregnungskulturen werden Kartoffeln, Zwiebeln, Gurken, Salat, Kohl und Feldgemüse zusammengefasst. Diese werden explizit im nächsten Abschnitt der Arbeit betrachtet (Abb. 21). Bei der Betrachtung der Fläche an potentiellen Beregnungskulturen ist zu berücksichtigen, dass einige Betriebe auf der Osterhofener Platte Zwiebeln und Kartoffeln nicht bewässern, daher bewegt sich die tatsächlich beregnete Fläche auf einem leicht niedrigeren Niveau. Stärkekartoffeln werden in der Regel nicht beregnet, deshalb werden diese separat ausgewiesen und sind bei der Anbaufläche an Kartoffeln nicht enthalten. Weniger bedeutende Kulturen auf der Osterhofener Platte stellen Wintergerste, GPS-Getreide, Winterraps sowie Körnerleguminosen dar.

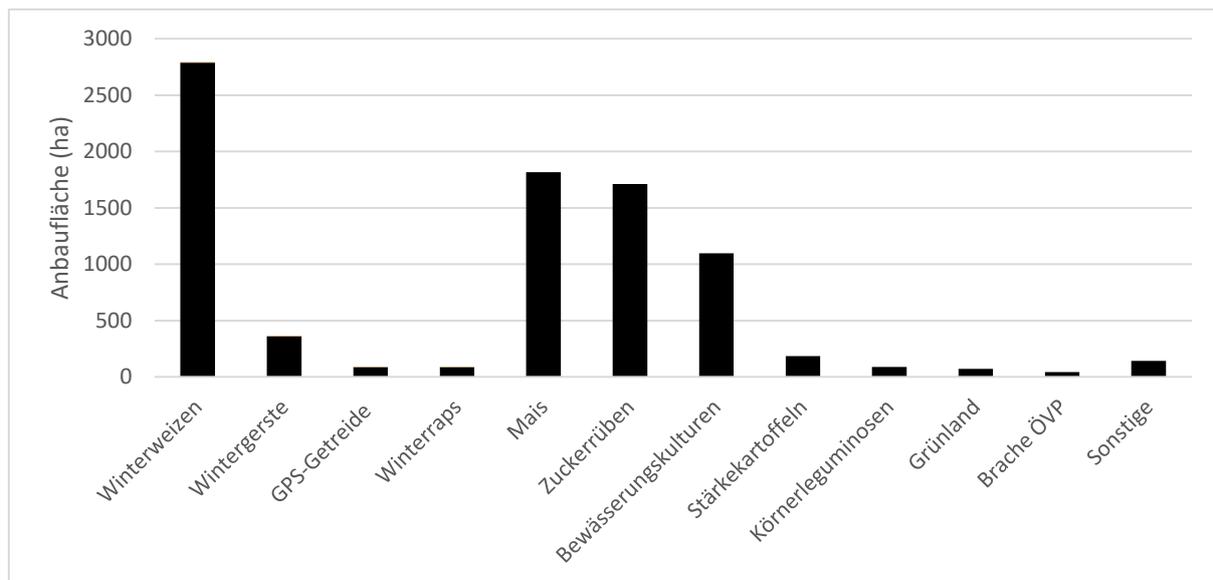


Abb. 20: Anbaufläche von Kulturen auf der Osterhofener Platte in 2016

Quelle: (MAUSSNER, 2016a)

Die Fläche an potentiellen Beregnungskulturen betrug in 2015 knapp 1200 Hektar, was einem Anteil von 15 % an der landwirtschaftlich nutzbaren Fläche entspricht (MAUSSNER, 2016b). In 2016 ging die Anbaufläche an potentiellen Beregnungskulturen im Vergleich zu 2015 um knapp 100 Hektar zurück. Flächenmäßig haben bei den Beregnungskulturen Kartoffeln die größte Bedeutung, gefolgt von Zwiebeln und Gurken (Abb. 21). Die Anbaufläche von Kartoffeln stieg leicht an, während der Anbau von Zwiebeln leicht und der Anbau von Gurken deutlich zurückging. Weitere Bewässerungskulturen stellen Kohl, Salat und Feldgemüse dar. Besonders der Rückgang beim Anbau von Feldgemüse fiel erheblich aus.

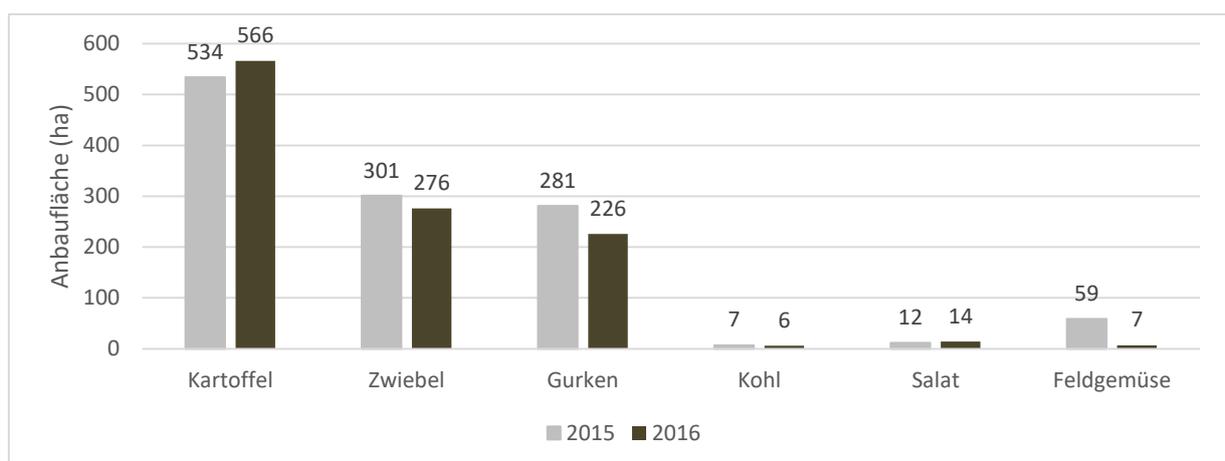


Abb. 21: Anbaufläche von potentiellen Beregnungskulturen auf der Osterhofener Platte in 2015 und 2016

Quelle: (MAUSSNER, 2016b)

4.2.4 Entwicklung des Grundwasserstandes und wasserrechtliche Rahmenbedingungen

Auf Basis der EU-Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) wird eine nachhaltige Bewirtschaftung von Wasserressourcen vorgeschrieben (EUROPÄISCHES PARLAMENT UND EUROPÄISCHER RAT, 2009). In Oberviehhausen, einer zentral auf der Osterhofener Platte liegenden Messstation, war der Grundwasserstand in 2015 auf den tiefsten Stand seit 1973 gefallen (Abb. 22) (STINGL, 2016). In 2016 erholte sich der Grundwasserspiegel leicht, dennoch liegt dieser deutlich unter dem langjährigen Mittelwert. Von 2006 bis 2015 wurden keine Messdaten erhoben, daher liegen für diesen Zeitraum keine Daten über die Entwicklung des Grundwasserstandes vor. Der Wasserverbrauch der Landwirtschaft zur Bewässerung lag auf der Osterhofener Platte im Durchschnitt der Jahre schätzungsweise bei 2.500.000 cbm (STINGL, 2016). Die sieben großen, industriellen Wasserverbraucher des Landkreises Deggendorf entnehmen zusammen rund 970.000 cbm (STINGL, 2016). Aus dem Verhältnis ist zu erkennen, dass die Beregnung eine sehr große Bedeutung für den Grundwasserspiegel hat. Der Beitrag der Bewässerung zur Grundwassersenkung belief sich nach Rechnungen des Wasserwirtschaftsamtes auf der Osterhofener Platte im Jahr 2015 auf 24 cm (STINGL, 2016).



Aus datenschutzrechtlichen Gründen wird auf diese Grafik verzichtet.

Abb. 22: Entwicklung des Grundwasserstandes in Oberviehhausen seit 1972

Quelle: (STINGL, 2016)

Nach Rechnungen des Landwirtschaftsamtes Deggendorf betrug der Wasserverbrauch für die Beregnung auf der Osterhofener Platte in 2015 circa 1.330.000 cbm (MAUSSNER, 2016b). Da

die Wasserentnahme nicht durch Wasseruhren erfasst wurde, konnte der Wasserverbrauch von den Behörden für 2015 nur nachträglich geschätzt oder berechnet werden. Seit 2016 wird die Wasserentnahme durch geeichte Wasseruhren überprüft. Im regenreichen Jahr 2016 lag die gemessene Wasserentnahme auf der Osterhofener Platte bei knapp 300.000 cbm (STINGL, 2016).

Die genehmigte Beregnungsfläche auf der Osterhofener Platte beträgt 2.000 Hektar (STINGL, 2016). Theoretisch könnte eine größere Fläche bewässert werden, hierfür ist aber keine Genehmigung vorhanden. Auf der Osterhofener Platte liegen Genehmigungen für 104 Brunnen mit einer Entnahmemenge von 650.000 m³ pro Jahr vor (STINGL, 2016). In 2016 wurden zwei Brunnen zur Uferfiltratentnahme aus der Isar mit 235.000 m³ pro Jahr genehmigt. Wenn für den Landwirt absehbar ist, dass die genehmigte Wassermenge nicht ausreicht, kann eine Erhöhung der Entnahmemenge beim zuständigen Wasserwirtschaftsamt Deggendorf beantragt werden. Die Genehmigung einer höheren Entnahmemenge ist abhängig vom Grundwasserstand (STINGL, 2016). Für das Beregnungswasser fallen keine Gebühren an, sondern es entstehen lediglich einmalig Genehmigungskosten für den Brunnen (STINGL, 2016).

Seit 2015 ist ein Verbot zur Überkopfberegnung von 10 bis 17 Uhr gültig, da die Verdunstungsverluste bei Sonnenschein während der Mittagszeit am höchsten sind (STINGL, 2016). Dieses gilt auch an bewölkten Tagen, da die Kontrolle einfach und klar geregelt sein soll.

4.2.5 Organisation der Landwirte

Die Interessensgemeinschaft Feldberegnung wurde 2015 aufgrund heftiger Kritik von Berufskollegen und Öffentlichkeit an der Bewässerung gegründet (SCHMITZ, 2016). Die IG Feldberegnung stellt eine reine Interessensvertretung der Beregnungsbetriebe gegenüber Öffentlichkeit und Behörden dar. So wurde die Bedeutung der Bewässerung für die Betriebe gegenüber verschiedenen Vertretern von Behörden und Entscheidungsträgern wie beispielsweise dem Deggendorfer Landrat Christian Bernreiter sowie den Ministern Helmut Brunner (Landwirtschaft) und Ulrike Scharf (Umwelt) erläutert. Überbetrieblichen Aufgaben wie die Organisation der Wasserbereitstellung werden von der IG Feldberegnung nicht übernommen. In der IG Feldberegnung sind etwa 70 Betriebe mit einer beregnungsfähigen Fläche von circa 7000 Hektar organisiert (SCHMITZ, 2016). Der Großteil der Mitglieder ist auf der Osterhofener Platte tätig.

Die IG Feldberegnung vertritt alle Arten von Beregnungsbetrieben, was entsprechend bei der Besetzung der Vorstandschaft berücksichtigt wurde (Tab. 17).

Tab. 17: Vorstandschaft der Interessensgemeinschaft Feldberegnung

	Amt	Bewässerungskulturen
Schmitz, Manfred	1. Vorstand	Kartoffeln, Zwiebeln
Sigl, Stefan	2. Vorstand und Schriftführer	Kartoffeln, Zwiebeln
Berger, Markus	2. Vorstand	Kartoffeln, Zwiebeln
Winetsdorfer, Josef	Vorstandsmitglied	Salat, Frischgemüse
Stangl, Johann	Vorstandsmitglied	Einlegegurken

Quelle: (SCHMITZ, 2016)

5 Ergebnisse

Im Rahmen der Masterarbeit wurden Experteninterviews mit 15 Personen geführt. Bei der Befragung der Experten ging es um die Berührungspunkte mit der Bewässerung in ihrem Tätigkeitsfeld. Diesbezüglich gaben die Experten ihre Einschätzung zum Thema Bewässerung auf der Osterhofener Platte ab, um die IST-Situation zu analysieren und Optimierungsmöglichkeiten des Bewässerungsmanagements unter Berücksichtigung regionaler und gesellschaftlicher Gesichtspunkte ableiten zu können.

Die befragten Experten wurden verschiedenen Expertenfeldern zugeordnet, um eine klare Strukturierung der Ergebnisse zu ermöglichen. Hierbei stellten Landwirte, Behörden, Beratung und Forschung unterschiedliche Expertenfelder dar. Experten aus dem Knoblauchsland und Hessen wurden hinzugezogen, damit ein Quervergleich mit weiteren Bewässerungsregionen möglich ist.

5.1 Aussagen der Landwirte

Die Experteninterviews wurden mit acht Betriebsleitern geführt, die auf der Osterhofener Platte tätig sind. Durch die Auswahl der Interviewpartner können alle wesentlichen Bewässerungskulturen auf der Osterhofener Platte abgedeckt werden. Nachfolgend wird eine kurze Zusammenfassung wesentlicher Aussagen und Einschätzungen der befragten Experten dargestellt. Im Anschluss erfolgt eine detaillierte Auswertung der Interviews.

Zusammenfassung der Ergebnisse:

- Die Bewässerung ist für die Landwirte sehr wichtig bis existenziell
- Die Betriebsleiter schätzen ihr Bewässerungsmanagement als sehr gut ein und eine Verbesserung der Beregnungseffizienz sei kaum realisierbar
- Die Bewässerungstechnik ist an die Anforderungen der jeweiligen Kultur unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte angepasst
- Die Bewässerungssteuerung erfolgt auf Basis verschiedener Kriterien
- Pflanzenbauliche Maßnahmen zur Wassereinsparung werden teilweise umgesetzt, weitere Maßnahmen sind aufgrund eines hohen Unkraut- und Schädlingsdrucks nicht realisierbar
- Beurteilung der gesellschaftlichen Akzeptanz der Bewässerung und möglicher Verbesserungen fällt sehr unterschiedlich aus
- Künftige Entwicklung der Bewässerungsfläche ist von politischen Entscheidungen sowie wasserrechtlichen Rahmenbedingungen abhängig

Detaillierte Auswertung der Ergebnisse

Bedeutung der Bewässerung

Die Bewässerung ist für die befragten Kartoffel- und Zwiebelbetriebe sehr wichtig zur Absicherung von Erträgen und Qualitäten. Durch eine gleichmäßige Sortierung und hohe Qualitäten kann ein besserer Preis bei der Vermarktung erzielt werden. Bei unbewässerten Kartoffeln traten teilweise während längerer Hitzeperioden Probleme mit Schwarzfleckigkeit und Zwiewuchs auf, was zu erheblichen Vermarktungsproblemen führte. Diese Probleme konnten bei bewässerten Kartoffeln vermieden werden. Künftig werden weiter steigende Qualitätsanforderungen des LEH erwartet, so dass die Bewässerung zur Qualitätsabsicherung weiter an Bedeutung gewinnen wird.

Für Gurken- und Frischgemüsebetriebe ist die Bewässerung existenziell, da ohne Bewässerung keine Wirtschaftlichkeit bei diesen Kulturen sichergestellt werden kann.

Marktfrüchte werden auf der Osterhofener Platte nicht bewässert, da nach Einschätzung der Landwirte keine Wirtschaftlichkeit bei diesen Kulturen gegeben sei.

Herkunft des Beregnungswassers und Bewässerungstechnik

Die Wasserentnahme aus dem Grundwasser erfolgt bei den befragten Landwirten auf der Osterhofener Platte überwiegend durch Tiefsaugpumpen, vereinzelt werden auch Bohrlochwellenpumpen eingesetzt. Bei der Wasserentnahme von Uferfiltrat aus der Isar wird eine Saugpumpe verwendet.

Bei den interviewten Betrieben werden Kartoffeln und Zwiebeln mit Schlauchtrommelberegnungsanlagen (Rollomat) bewässert, Gurken mit Tropfbewässerung und Frischgemüse mit Rohrberegnung.

Zusatzwasserbedarf der Kulturen und Wasserrechte

Die Wasserrechte der befragten Landwirte auf der Osterhofener Platte betragen auf genehmigten Flächen zwischen 30 und 70 l/m², teilweise auch 120 bis 150 l/m². In trockenen und heißen Jahren kalkulieren die Betriebe mit folgendem Wasserbedarf für die Beregnung:

- Kartoffeln: Maximal 90 - 120 l/m²
- Zwiebeln: Maximal 120 - 150 l/m²
- Gurken: Maximal 200 - 280 l/m²
- Salat: Maximal 70 l/m² je Satz.
Bei 2 Sätzen pro Jahr maximal 140 l/m².

Da für einige Flächen nicht ausreichende Wasserrechte vorhanden sind, wollen die befragten Landwirte eine Unterteilung der Schläge durchführen oder es wird versucht, die Entnahmerechte mehrerer Flurstücke auf einem Schlag zu bündeln. Wenn in einem trockenen Jahr absehbar ist, dass die Entnahmerechte nicht ausreichen, möchten sich die Betriebe weiteres Wasser sichern. So wollen die interviewten Betriebsleiter die Genehmigung weiterer Wasserrechte beantragen und Gemeinschaften mit den Feldnachbarn bilden, falls dies möglich ist. Zudem wird von einzelnen Landwirten die Möglichkeit geprüft, ob die Bewässerung mit Fernwasser fortgeführt werden kann.

Die fehlende Rechtssicherheit zum Umfang der Wasserentnahme stellt insbesondere für die befragten Gurkenbetriebe ein großes Problem dar, da die Wasserrechte für ein trockenes Jahr nicht ausreichend sind und diese Betriebe auf eine Erhöhung der Entnahmemenge angewiesen sind.

Organisationsform der Bewässerung

Die Bewässerung der befragten Betriebsleiter wird meist einzelbetrieblich organisiert, manchmal arbeiten die Betriebe an einzelnen Brunnen und Flurstücken zusammen. Die Ausweisung eines Beregnungsverbandes würden manche Beregnungsbetriebe bejahen, andere lehnen einen Beregnungsverband ab. Ein Teil der befragten Betriebsleiter begrüßt die besseren Möglichkeiten zur Wasserbereitstellung und die möglicherweise höheren Wasserrechte. Der andere Teil lehnt einen Verband ab, da die Betriebe selbst mit ausreichend Wasserrechten und einer entsprechenden Infrastruktur für die Wasserentnahme ausgestattet sind. Der Großteil der Betriebsleiter hält die Umsetzung einer solchen Maßnahme für unrealistisch, weil keine ausreichende Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz sichergestellt sei. Dies liegt an den Kosten für die Erschließung eines Verbandsnetzes, weitläufig verteilten Beregnungsflächen und an vielen Nicht-Bewässerungsbetrieben im Bereich der Osterhofener Platte.

Bewässerungssteuerung

Die interviewten Landwirte bewässern auf Basis vieler unterschiedlicher Kriterien. Nachfolgend werden die wesentlichen Entscheidungshilfen erläutert:

- Persönliche Erfahrungswerte
- Spaten- oder Fingerprobe
- Wetterprognose
- Beobachtung der Kultur
- Sorte
- Qualität des Bodens

- Betriebsabläufe
- Erzeugerring-Beratung
- Boden-Wasser-Modell Weihenstephan
- Tensiometer

Die Entscheidung zur Bewässerung fällen die befragten Betriebsleiter meist nach Betrachtung der Schläge und Kulturen vor Ort und nach Überprüfung der Bodenfeuchte durch Spaten- oder Fingerprobe. Über die Bewässerung steuern die befragten Betriebe teilweise das Wachstum von Gurken und Frischgemüse, um ein „Davonwachsen“ der Kulturen bei Hitze zu verhindern. Durch leichten Wassermangel wird das Wachstum der Gurken verringert und so ist es möglich, eine kleiner sortierte Ware zu pflücken, für die ein besserer Preis bei der Vermarktung erzielen wird. Ebenso kann nach Einschätzung eines Betriebsleiters zu schnelles Wachstum von Salat bei Hitze durch geringere Bewässerungsgaben reduziert werden und ein zu schnelles „Auswachsen“ verhindert werden. Somit kann das Schneiden des Salates etwas verzögert und der Erntetermin kann besser an die betrieblichen Abläufe integriert werden. Zudem treten nach Erfahrungen des Betriebsleiters durch eine reduzierte Bewässerungsintensität bei Salat weniger Probleme mit Fäulnis und Mehltau auf, wodurch phytosanitäre Probleme verringert werden können.

In Phasen längerer Hitzeperioden haben einige der befragten Betriebe Kapazitätsengpässe bei der Bewässerung. Viele Hackfruchtbetriebe sind nicht in der Lage, die gesamte Zwiebel- und Kartoffelfläche bewässern. So haben Zwiebeln meist eine höhere Priorität bei der Bewässerung als Kartoffeln. Bei Zwiebeln wird versucht, nahezu 100 % der Fläche zu bewässern, während bei Kartoffeln meist 50 % der Fläche bei den befragten Betrieben bewässert werden können.

Eine weitere wichtige Entscheidungshilfe für die befragten Betriebe liefert die Beratung des Erzeugerrings für Obst und Gemüsebau Straubing. Der Erzeugerring bereitet Informationen über die tägliche Verdunstung und mögliche Gabenhöhe der Bewässerung auf und gibt kulturspezifische Hinweise über den möglichen Bewässerungszeitpunkt in Abhängigkeit von Witterung und Entwicklungsstadium.

Ein Teil der befragten Kartoffel- und Zwiebelbetriebe nützte das Boden-Wasser Modell Weihenstephan. Es wird als Hilfsmittel zur Berechnung der täglichen Verdunstung verwendet. Andere Landwirte beurteilen das Modell als berechnungsintensiver und nicht unbedingt wassersparender als sie nach persönlichen Erfahrungen bewässert hätten.

Tensiometer werden von den meisten Betriebsleitern abgelehnt, da sehr viele Schläge bewässert werden. Außerdem werden Tensiometer als ungenau und unzuverlässig eingeschätzt. Manche Landwirte haben Tensiometer in der Vergangenheit bereits eingesetzt.

Ein Teil der Landwirte war unzufrieden, da Tensiometer die Feuchtigkeit nur punktuell messen und das Ergebnis entsprechend der Positionierung des Tensiometers ausfällt. Außerdem traten Diebstähle von Tensiometern auf. Ein Gurkenbetrieb erprobte eine automatische Steuerung der Bewässerung durch Tensiometer. Die Umsetzung in der Praxis war nicht zufriedenstellend, da keine Kontrolle der Steuerung möglich war und somit die Abhängigkeit von der Technik sehr hoch ist. So wurde die automatische Bewässerungssteuerung bereits während der Saison abgebrochen. Darüber hinaus fielen sehr hohe Investitionskosten für vier Bodenfeuchtesensoren und eine automatische Regelungsanlage an. Künftig möchte dieser Betriebsleiter weiterhin Informationen für die Bewässerungssteuerung durch den Einsatz von mehreren Tensiometern gewinnen.

Umsetzbarkeit von pflanzenbaulichen/ anthropogenen Maßnahmen zur Wassereinsparung

Die befragten Betriebe führen die Bodenbearbeitung mit dem Pflug durch. Eine reduzierte Bodenbearbeitung schätzen die Betriebsleiter als nicht praxistauglich ein. So zeigte sich bei Kartoffeln und Zwiebeln, dass eine pfluglose Bewirtschaftung zu einem erhöhten Unkrautdruck führte. Dies konnte nur durch einen hohen Herbizideinsatz reguliert werden, was die Entwicklung der Kartoffeln und Zwiebeln negativ beeinträchtigte. Außerdem sei der Pflug zur Einarbeitung von Durchwuchskartoffeln essentiell. Eine tiefe Bodenbearbeitung sieht ein Teil der befragten Gurkenbetriebe vor dem Anbau von Einlegegurken zur Beseitigung von Störschichten und zum Brechen der Pflugsohle als notwendig an. Bei Salaten führt der interviewte Betriebsleiter zwischen der Pflanzung von verschiedenen Sätzen aus pythosanitären Gründen eine wendende Bodenbearbeitung durch. Die Einarbeitung der Salatreste sorgt für einen „reinen“ Tisch, was zu einer Verringerung des Infektionspotentials aus den Ernteresten führt, bevor der neue Satz angepflanzt wird.

Die interviewten Landwirte beschäftigen sich intensiv mit der Verbesserung der Wasserspeicherung durch Mulchsaat. Allerdings führte die Umsetzung in der Praxis bei Kartoffeln teilweise zu erheblichen Problemen mit Drahtwurm und Schneckenfrass. Außerdem gestaltete sich die Rodung von Mulchsaat-Kartoffeln im Vergleich zu Flächen ohne Mulchsaat schwieriger. Mulchsaat bei Zwiebeln wird ebenfalls nur in geringem Umfang als praxistauglich eingeschätzt, da Probleme mit Drahtwurm und Schwierigkeiten bei der Aussaat auftraten. Zudem wird von Seiten der Landwirte noch Entwicklungsbedarf bei der Mulch-Sätechnik gesehen, da Mulchsaat aufgrund des engen Reihenabstandes der Zwiebeln schwierig umsetzbar ist und gerne auf eine noch bessere Mulch-Sätechnik zurückgegriffen werden würde. Beim Gurkenanbau stellt die Mulchfolie einen sehr guten Verdunstungsschutz dar. Bei Salaten kann die Verdunstung durch Vliesbedeckung im Frühjahr reduziert werden.

Eine Verringerung der Beregnungsbedürftigkeit aufgrund der Sorte kann ein interessanter Nebeneffekt sein, allerdings wird die Auswahl der Sorte bei den befragten Betrieben primär nach betrieblichen Abläufen und Vermarktungsmöglichkeiten getroffen. Bei Kartoffeln ist die Verwertungsrichtung für die Beregnungsbedürftigkeit entscheidend. So werden vor allem Speise-, Pommes- und Chipskartoffeln bewässert, während bei Stärkekartoffeln auf der Osterhofener Platte weitgehend auf Beregnung verzichtet wird.

Mais kann als Windschutz die Windgeschwindigkeit auf den Feldern verringern, was eine Reduzierung der Verdunstung zur Folge haben könnte. Auf den befragten Gurkenbetrieben werden bei passenden Feldern alle 42 Meter mehrere Maisreihen angesät.

Optimierungsmöglichkeiten des Bewässerungsmanagements

Optimierungspotential wird von den befragten Betriebsleitern im Bereich Bewässerungstechnik nur in geringfügigem Umfang gesehen. So stellt die Bewässerung mit Rohrtrommelanlagen das beste und alternativlose Verfahren bei Kartoffeln und Zwiebeln dar. Das Verbot der Beregnung von 10 bis 17 Uhr kann zur Verringerung der Verdunstungsverluste bei Hitze beitragen. Das Verfahren Tropfbewässerung mit Mulchfolie sorgt nach Einschätzung der Gurkenbetriebe für sehr geringe Verdunstungsverluste und könne kaum mehr verbessert werden. Die Rohrberegnung bei Salat wird vom befragten Betriebsleiter als geeignetste Technik für die Bewässerung von Frischgemüse angesehen, da die Anwässerung direkt nach dem Setzen der Pflanzen gut durchgeführt werden kann und viele kleine Gaben im Laufe der Vegetation möglich sind. Durch die Anschaffung von weiteren Sektionalregnern am Ende der Rohrleitung könnte die Wasserverteilung optimiert werden. Der Austausch von alten Rohrleitung stellt eine weitere Möglichkeit dar, die Wasserverluste zu verringern.

In einer gezielteren Schulung der Mitarbeiter wird von manchen Betriebsleitern Potential zur Verbesserung der Wassernutzungseffizienz gesehen. So ist geplant, die für die Bewässerung zuständigen Mitarbeiter noch zielgerichteter für einen sparsamen Umgang mit Wasser zu sensibilisieren und somit die Beregnungsintensität zu verringern.

Die befragten Kartoffel- und Zwiebelbetriebe möchten das Boden-Wasser-Modell künftig verstärkt als Entscheidungshilfe für die Bewässerungssteuerung nutzen. Insbesondere die Berechnung der täglichen Verdunstung stellt für einige Betriebsleiter eine interessante Informationsgrundlage dar, um den optimalen Zeitpunkt für die Bewässerungsgaben bestimmen zu können.

Gesellschaftliche Akzeptanz der Bewässerung und Verbesserungsmöglichkeiten

Die befragten Landwirte beurteilen die gesellschaftliche Akzeptanz der Bewässerung sehr unterschiedlich. Manche Betriebsleiter sehen wenig gesellschaftliche Probleme und finden,

dass die Bewässerung ihres Betriebes von der Öffentlichkeit akzeptiert wird. Andere Landwirte spürten die heftige Kritik von Gesellschaft und Berufskollegen sehr deutlich.

Die Landwirte zeigen teilweise auch Verständnis, dass im Rahmen der emotionalen Debatten um das Trockenfallen von Brunnen die Beregnung Gegenstand der regionalen Grundwasserdiskussion wurde. So werden für das Trockenfallen der Brunnen vor allem die niederschlagsarmen Winter seit 2013 sowie der heiße Sommer 2015 und die hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich der trockengefallenen Brunnen verantwortlich gemacht. Als Mitursache für die Intensität der Diskussion wird das hohe Pachtpreinsniveau auf der Osterhofener Platte vermutet.

Durch das Verbot der Überkopfberegnung von 10 bis 17 Uhr sehen die Betriebe einen Hauptkritikpunkt an der Bewässerung behoben. Somit können möglicherweise hohe Verdunstungsverluste während der Mittagshitze vermieden werden.

In der Nutzung von Uferfiltrat wird ebenfalls ein Beitrag zur Entspannung der örtlichen Grundwasserdiskussion gesehen, da das Beregnungswasser aus der Isar entnommen wird und somit der Grundwasserkörper auf der Osterhofener Platte geschont werden kann.

Als weitere Maßnahmen für Verbesserung der gesellschaftlichen Akzeptanz sehen die befragten Betriebsleiter fachliche Veranstaltungen zum Thema Beregnung an, damit die Betriebsleiter noch mehr Wissen zu einer gezielten Bewässerungssteuerung erwerben können. Somit kann „eine gute fachliche Praxis“ bei der Bewässerung sichergestellt werden. Manche Betriebsleiter wollen auch das Thema Beregnung aktiv in der Öffentlichkeit ansprechen. So erklärte ein Betriebsleiter, dass dieser bei vorbeigehenden Personen die Beregnung bewusst thematisiert und die Leute über die fachliche Notwendigkeit der Beregnung informiert. Dies sei notwendig, da mittlerweile ein Teil der Gesellschaft über kein ausreichendes landwirtschaftliches Hintergrundwissen verfügt und sich ihre Meinung zur Landwirtschaft ausschließlich über die Medien bildet. Durch Öffentlichkeitsarbeit könne möglicherweise das Bild der Landwirtschaft im Allgemeinen und der Beregnung im Speziellen positiver dargestellt werden. Durch die Interessensvertretung der IG Feldberegnung bei Behörden und Ämtern kann die fachliche Notwendigkeit der Beregnung für die Produktion von Gemüse und Kartoffeln erläutert werden. Somit kann die Außendarstellung in der Presse möglicherweise verbessert und die Bewässerung ebenfalls positiver in der Öffentlichkeit dargestellt werden.

Künftige Entwicklung der Beregnungsfläche auf der Osterhofener Platte

Die befragten Betriebsleiter beurteilen die weitere Entwicklung von Beregnungskulturen auf der Osterhofener Platte unterschiedlich. So soll die Beregnungsfläche des eigenen Betriebs

nicht mehr ausgedehnt werden oder ist leicht rückläufig. Weitgehende Einigkeit herrscht dabei, dass die künftige Anbaufläche von Beregnungskulturen maßgeblich von den Wasserrechten beeinflusst wird. Diese sind nach Einschätzung der Betriebsleiter von den politischen Entscheidungen beziehungsweise der Vorgehensweise der Behörden abhängig. Hierbei wird von Teilen der Landwirte eine restriktive Vergabe der Wasserrechte erwartet, dementsprechend reduziert sich die Beregnungsfläche im Vergleich zu 2015.

Einige Betriebsleiter halten den Einstieg weiterer Betriebe in die Bewässerungskulturen für wahrscheinlich, da die Zukunft der Zuckerrübe unsicher ist und viele Betriebsentwicklungen auf der Osterhofener Platte noch nicht abgeschlossen sind. Da eine Betriebsentwicklung auf der Osterhofener Platte vor allem durch Intensivierung mit Beregnung erreicht werden kann, wird künftig der Einstieg weiterer Betriebe in die Bewässerung von Kartoffeln und Zwiebeln erwartet. Die Anbaufläche von Einlegegurken wird als eher rückläufig eingeschätzt.

5.2 Aussagen der Behörden

Die Experteninterviews wurden mit zwei Behördenvertretern geführt, die die regionalen Ansprechpartner für die Landwirte auf der Osterhofener Platte darstellen. Durch die Auswahl der Interviewpartner können sowohl Landwirtschafts- als auch Wasserwirtschaftsbehörde abgedeckt werden. Im weiteren Verlauf werden die Aussagen und Einschätzungen detailliert aufgeführt.

Zusatzwasserbedarf der Kulturen und Wasserrechte

In sehr trockenen und heißen Jahren kalkulieren die Behörden mit folgendem Wasserbedarf auf der Osterhofener Platte:

- Kartoffeln: Nicht der zuständige Fachbereich
- Zwiebeln: Maximal 180 l/m²
- Einlegegurken: Maximal 240 l/m²
- Salat: Maximal 90 l/m² pro Satz.
Bei maximal 3 Sätzen pro Jahr höchstens 200 l/m².

Für die Entnahme von Beregnungswasser fallen keine Gebühren an, lediglich Genehmigungskosten für den Brunnen entstehen einmalig. Die Entnahme erfolgt überwiegend aus dem Grundwasser, wobei in 2016 nach Aussagen der Wasserwirtschaft zwei Brunnen zur Entnahme von Uferfiltrat im Bereich der Osterhofener Platte genehmigt wurden.

Nach Ansicht des Wasserwirtschaftsamtes besteht die Möglichkeit, die Grundwasserentnahme in Abhängigkeit vom Grundwasserspiegel auszuweiten. Ein

Kontingent von 70 l/m² ist relativ einfach möglich, da jährlich eine Grundwasserneubildung von 245 mm auf der Osterhofener Platte stattfindet. Hiervon dürfen 30 % für die Beregnung eingesetzt werden. Allerdings darf dieses Kontingent nur auf der genehmigten Fläche verwendet werden, die dem jeweiligen Brunnen zugeordnet ist. Dies kann für die Landwirte problematisch sein, die ihre Flächen verstreut haben. Hier ist eine Kumulierung des Wassers auf besonders beregnungsintensive Kulturen schwierig zu gestalten. Großes Potential wird bei der Wasserentnahme durch Uferfiltrat aus Isar oder Donau gesehen und es kann eine Wasserentnahme von 30 bis 40 l/s genehmigt werden.

Wenn die Wasserrechte nicht ausreichen, sollten die Betriebe nach Ansicht der Landwirtschaftsbehörde versuchen, sich weiteres Wasser zu sichern und das Jahr bestmöglich zu Ende zu bringen. Dies kann über einen Antrag zur Erhöhung der Entnahmemenge, der Nutzung von Fernwasser oder überbetriebliche Lösungen erfolgen. Nach Aussagen der Wasserwirtschaft ist die Erhöhung der Entnahmemenge rechtzeitig zu beantragen. Die Genehmigung einer höheren Entnahmemenge ist abhängig vom Grundwasserstand auf der Osterhofener Platte.

Bewässerungstechnik

Nach Informationen der Behörden wird auf den Betrieben für die verschiedenen Kulturen meistens folgende Bewässerungstechnik eingesetzt:

- Kartoffeln: Schlauchtrommelberegnung (Rollomat)
- Zwiebeln: Schlauchtrommelberegnung
- Gurken: Tropfbewässerung
- Salat: Teilweise Rohrberegnung, teilweise Schlauchtrommelberegnung
- Kraut: Schlauchtrommelberegnung
- Kohl: Schlauchtrommelberegnung
- Sellerie: Schlauchtrommelberegnung
- Zucchini: Teilweise Tropfbewässerung
- Erdbeeren: Teilweise Tropfbewässerung

Die Schlauchtrommelberegnung wird als wind- und verdunstungsanfällig eingestuft. Dennoch ist nach Einschätzung des Landwirtschaftsamtes keine wirtschaftliche Alternative verfügbar. Die Bedienung eines Düsenwagens gestaltet sich in der Praxis schwierig, zudem stellt die sehr viel höhere Beregnungsintensität im Vergleich zur Schlauchtrommelanlage ein wesentliches Problem dar.

Bewässerungssteuerung

Nach Meinung der Landwirtschaftsbehörde sind Modelle mit klimatischer Wasserbilanz gut geeignet, um die gegebenen Berechnungsgaben besser beurteilen zu können. Somit kann der Versickerung von Wasser und der damit verbundenen Auswaschung von Nährstoffen vorgebeugt werden. Bei Modellen könnte allgemein die Eichung noch etwas besser sein. Hierbei wird Potential gesehen, dass Wasser eingespart werden könnte und gleichzeitig Ertrag sowie Qualität beibehalten wird. Tensiometer werden als geeignetes Kontrollinstrument eingeschätzt, die Sickerwasserbildung unterhalb der Wurzelzone zu kontrollieren.

Umsetzbarkeit von pflanzenbaulichen Maßnahmen zur Wassereinsparung

Nach Einschätzung der Landwirtschaftsbehörde lässt sich Mulchsaat lediglich bei Roten Beeten und eventuell Zwiebeln in der Praxis umsetzen. Bei Salat sei lediglich die Bedeckung des Salates mit Flies im Frühjahr sinnvoll. Bei allen weiteren Kulturen sei keine praxistaugliche Realisierung von Maßnahmen möglich, die den Landwirten empfohlen werden kann.

Bewässerungsmanagement der Landwirte und Optimierungsmöglichkeiten

Nach Einschätzung der Landwirtschaftsbehörde ist das Bewässerungsmanagement der meisten Landwirte professionell und an die Versorgungsansprüche der Kultur angepasst. Insbesondere die Betriebe auf der Osterhofener Platte sind auf die Problematik einer wassersparenden Bewässerung sensibilisiert. Bei einzelnen Betrieben sei in Bezug auf eine Beregnung mit reduzierter Intensität noch Potential vorhanden und es könnte noch mehr Wissen über eine gezieltere Bewässerungssteuerung erworben werden.

Eine Verbesserung der Wassernutzungseffizienz könnte möglicherweise durch eine gezieltere Schulung der Erntehelfer auf manchen Betrieben erreicht werden, indem die Betriebsleiter die Mitarbeiter für einen sparsamen Umgang mit Beregnungswasser sensibilisieren.

Die Landwirtschaftsbehörde beurteilt das Verfahren Tropfbewässerung mit Mulchfolie als sehr hohen Standard. Druckkompensierte Tropfschläuche könnten möglicherweise für eine noch bessere Verteilung des Wassers sorgen. Hierbei müsse jedoch Praktikabilität und Wirtschaftlichkeit geprüft werden.

Überbetriebliche Organisation der Bewässerung

Nach Einschätzung der Landwirtschaftsbehörde könnten die Landwirte durch gemeinsames Auftreten in einem Verband vermutlich höhere Wasserrechte im Vergleich zur aktuellen Situation realisieren. Außerdem verfügt ein Verband über hoheitliche Rechte. Ein Beregnungsverband könnte nach Ansicht der Wasserwirtschaft die Bewässerung der

Landwirte bündeln und das Wasser weitflächiger verteilen. Außerdem gäbe es für die Behörden weniger Ansprechpartner.

Da ein Verband nur für Beregnung mit Ufer- oder Speicherfiltrat ausgewiesen werden kann, sind derzeit die rechtlichen Voraussetzungen für die Gründung eines Verbandes mit Grundwasser nicht gegeben.

Verbesserungsmöglichkeiten der gesellschaftlichen Akzeptanz

Durch den Verzicht auf die Überkopfberegnung bei Hitze sehen die Behörden einen Hauptkritikpunkt an der Bewässerung behoben. Durch eine bessere Kommunikation der Bewässerung konnte die Akzeptanz der Bewässerung in der Öffentlichkeit verbessert werden.

Künftige Entwicklung der Beregnungsfläche auf der Osterhofener Platte

Die künftige Entwicklung der Beregnungsfläche auf der Osterhofener Platte wird nach Ansicht der Landwirtschaftsbehörde allein von politischen Rahmenbedingungen und den daraus resultierenden Wasserrechten abhängig sein. Im Vergleich zu 2015 wird eine rückläufige Entwicklung der Bewässerungsfläche erwartet, da seit 2015 vor allem Pachtbetriebe mit Einlegegurken die Osterhofener Platte meiden. Nach Einschätzung der Wasserwirtschaft wird der Beregnungsbedarf weiter zunehmen, wobei die künftige Entwicklung schwierig einzuschätzen ist.

5.3 Aussagen der Beratung

Das Experteninterview wurde mit einem Berater des Erzeugerrings für Gemüsebau Straubing geführt, der der regionale Ansprechpartner für die Landwirte auf der Osterhofener Platte ist. Der Erzeugerring berät die Landwirte bei der Bewässerung und unterstützt die Landwirte bei pflanzenbaulichen Fragestellungen. Nachfolgend werden die Aussagen und Einschätzungen von Seiten der Beratung detailliert dargestellt.

Bedeutung der Beratung

Im gesamten Erzeugerringgebiet in Niederbayern und der Oberpfalz werden 240 Betriebe mit einer Fläche von circa 4.800 Hektar Freilandgemüsebau beraten. Hiervon entfielen im Jahr 2015 etwa 20 % der Fläche auf die Osterhofener Platte. Zwiebeln (1.900 ha) und Einlegegurken (1.100 ha) sind die flächenstärksten Kulturen im Beratungsgebiet. Weitere Kulturen stellen Kopfkohl (Kraut) und Frischgemüse (Salat, Blumenkohl, Broccoli, Zucchini und Kräuter) dar.

Zusatzwasserbedarf der Kulturen und Wasserrechte

In sehr trockenen und heißen Jahren kalkuliert die Beratung mit folgendem Zusatzwasserbedarf auf der Osterhofener Platte:

- Speisekartoffeln: 150 l/m²
- Zwiebeln: 150 l/m²
- Gurken: 300 l/m²
- Blumenkohl: 180 l/m²
- Salat: 150- 160 l/m² (bei zwei Anbausätzen)
- Kohlkopf (Industrie): 150 l/m²
- Kopfkohl (Frischmarkt/ Lager): 210 l/m²

Wenn die Wasserrechte nicht ausreichen, sollten die Betriebe nach Ansicht der Beratung rechtzeitig beim zuständigen Landratsamt einen Antrag auf Erhöhung der Entnahmemenge stellen. Der Antrag sollte ab Erreichen von 85 % der beim jeweiligen Brunnen genehmigten Gesamtwasserentnahmemenge eingereicht werden. Die derzeit vorliegende, fehlende Rechtssicherheit zum Umfang der Wasserentnahme stellt insbesondere im Landkreis Deggendorf ein Problem dar.

Bewässerungstechnik

Im Beratungsgebiet wird auf den Betrieben für die verschiedenen Beregnungskulturen meist folgende Bewässerungstechnik eingesetzt:

- Zwiebeln: Schlauchtrommelberegnung (Rollomat)
- Gurken: Tropfbewässerung
- Salat: 1/3 Rohrberegnung; 2/3 Schlauchtrommelberegnung
- Kartoffeln: Schlauchtrommelberegnung

Form der Beratung

Die Beratung erfolgt telefonisch, über das Erzeugerrundschreiben (Email, Fax oder Brief) und vor Ort auf den Betrieben. Die Betriebe werden bei Fragen zur Bewässerung, zur Sortenwahl, zum Pflanzenschutz, zur Düngung, zur Bodenbearbeitung, zur Fruchtfolge sowie bei sonstigen Anbauentscheidungen beraten.

Die Landwirte erhalten verschiedene Informationen als Entscheidungshilfe für die Bewässerung. Im Rundschreiben des Erzeugerrings wird auf einen möglicherweise auftretenden Zusatzwasserbedarf der Kulturen hingewiesen. Darüber hinaus werden Hinweise zu den täglichen Verdunstungswerten an die Betriebe kommuniziert. So liegt die tägliche

Verdunstung während Hitzeperioden im Bereich von circa fünf bis sieben mm, während diese bei niedrigen Temperaturen oder Bewölkung null bis vier mm beträgt. Zudem werden verschiedene Online-Programme zur betriebs- und kulturspezifischen Verdunstungs- sowie Wasserbedarfsermittlung empfohlen.

Von Seiten der Beratung werden Informationen zum Wasserbedarf der jeweiligen Kultur in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium und der Witterung aufbereitet. Beispielsweise wird bei Zwiebeln darauf hingewiesen, dass bei frühen Zwiebelsorten die Hauptwachstumsphase zu einem früheren Zeitpunkt auftritt als bei späten Sorten. Dementsprechend ist der Hauptwasserbedarf von der Reifegruppe der Sorten abhängig. Ebenso werden Hinweise bei Einlegegurken gegeben, dass Überwässerung erhebliche wirtschaftliche und ökologische Folgen haben kann, da die Kultur im Wurzelbereich durch Sauerstoffmangel geschädigt wird und Nitrat ausgewaschen werden kann.

Die Berater überprüfen die Bodenfeuchte teilweise vor Ort auf den Betrieben mit dem Bohrstock. Interessierte Betrieben werden zum Einsatz von Tensiometern beraten, was für die Betriebe eine weitere Entscheidungshilfe zum Bestimmen der Bodenfeuchte sein kann.

Umsetzung von pflanzenbaulichen Maßnahmen zur Wassereinsparung

Nach Einschätzung der Beratung verzichten vereinzelt Betriebe auf wendende Bodenbearbeitung und der Großteil der Betriebe führt die Bodenbearbeitung mit dem Pflug durch. Bei pflugloser Bodenbearbeitung können verstärkt Problemen mit Resten der Vorkultur wie beispielsweise Durchwuchskartoffeln auftreten.

Aus Sicht der Beratung wird Mulchsaat bei Zwiebeln vor allem im Hügelland wegen des Erosionsschutzes umgesetzt. Da für die Aussaat der Zwiebeln eine spezielle Mulch-Sätechnik notwendig ist, reicht die Montage von einfachen Mulchmaterial-Schneidescheiben nicht aus. Problematisch ist die Mulchsaat aufgrund eines höheren Schädlingsdrucks zu beurteilen, insbesondere, da die letzten noch zugelassenen Saatgut-Insektizidbeizen auslaufen.

Die Sortenwahl erfolgt nach vermarktungsentscheidenden Kriterien. Ein geringer Wasserbedarf einer Sorte stellt nach Einschätzung der Beratung oft nur einen „PR-Gag“ der Saatgutfirmen dar.

Bewässerungsmanagement der Betriebe und Optimierungsmöglichkeiten

Die Beratung beurteilt das Bewässerungsmanagement der Betriebe als sehr gut, da die Landwirte bei der Bewässerungsentscheidung das kulturspezifische Entwicklungsstadium und die Bodenfeuchte berücksichtigen. Tendenziell bewässern die Betriebe eher zu wenig und zu

spät, da Bewässerung ein arbeits- und kapitalintensives Verfahren in der landwirtschaftlichen Produktion darstellt.

Kritisch sieht die Beratung die Überkopfberegnung bei Hitze, da möglicherweise hohe Verdunstungsverluste auftreten.

Durch eine Verringerung der Rüstzeiten könnte die Effizienz der Beregnung bei vielen Betrieben gesteigert werden. Dies könnte durch Entnahmeleitungen am Feld und entsprechende Verteilernetze bewerkstelligt werden.

Überbetriebliche Organisation der Bewässerung

Die Idee zur Gründung eines Beregnungsverbandes stellt theoretisch eine gute Idee dar, allerdings würde die praktische Umsetzung viele Jahre beanspruchen und die Finanzierung sowie staatliche Fördermittel müssten sichergestellt werden. Nach Einschätzung der Beratung würde die Infrastruktur eines Verbandes vermutlich zu mehr Beregnung und höheren Wasserentnahmemengen führen, da die Infrastruktur bereits vorhanden ist und der „Wasserhahn“ nur mehr aufgedreht werden muss.

Verbesserungsmöglichkeiten der gesellschaftlichen Akzeptanz

Die Beratung sieht in Siedlungsnähe den Austausch von alten, lärmintensiven Dieselaggregaten durch Elektropumpen oder schallschutzgedämmte Bewässerungsaggregate als sinnvoll an. Somit könnte die Lärm- und Abgasbelastung in der Nähe von Wohngebieten deutlich verringert und die Akzeptanz der Bewässerung verbessert werden.

Künftige Entwicklung der Beregnungsfläche auf der Osterhofener Platte

Nach Einschätzung der Beratung werden Pachtbetriebe mit beregnungsintensiven Kulturen die Osterhofener Platte künftig meiden. Der Anbau von diesen Kulturen wird in Nachbarlandkreise oder nach Osteuropa abwandern, wie die aktuelle Entwicklung bei Einlegegurken aufzeigt.

5.4 Aussagen der Forschung

Die Experteninterviews wurden mit zwei Vertretern der Wissenschaft geführt, die sich intensiv mit dem Bewässerungsmanagement in der landwirtschaftlichen Produktion beschäftigen. Nachfolgend werden die Aussagen und Einschätzungen der Forschung ausgewertet.

Zusatzwasserbedarf der Kulturen und Wasserrechte

In sehr trockenen und heißen Jahren kalkuliert die Forschung mit folgendem Wasserbedarf auf der Osterhofener Platte, wobei der Wasserbedarf von Kartoffeln und Salat lediglich die Meinung eines Interviewpartners wiedergibt:

- Kartoffeln: 120 l/m²
- Zwiebeln: 150 bis 300 l/m²
- Gurken: 250 bis 400 l/m²
- Salat: 60- 70 l/m² je Satz

Wenn die Wasserrechte genutzt sind und weiterer Bewässerungsbedarf besteht, ist nach Einschätzung der Wissenschaft eine Abstimmung der Landwirte mit der Interessensgemeinschaft Feldberegnung sinnvoll, um die weitere Vorgehensweise zu besprechen. Kurzfristig sollte ein Antrag zur Erhöhung der Entnahmerechte gestellt werden. Wenn absehbar ist, dass die Entnahmerechte nicht ausreichen, sollten sich die Betriebe beim Bewässern auf die Anbausysteme konzentrieren, die monetär die größten Effekte versprechen. Die anderen Kulturen sollten nicht mehr bewässert werden. Ein weiterer Ansatzpunkt bei nicht ausreichenden Wasserrechten ist, sich bei der Beregnung auf die besten Flächen zu konzentrieren, da auf diesen der geringste Zusatzwasserbedarf benötigt wird und dort die Ertrags- und Qualitätsverluste am besten minimiert werden könnten. Mittelfristig sollten die Betriebe den Anbau so gestalten, dass das Wasserangebot in Trockenjahren einigermaßen ausreicht, um den Bedarf zu decken und gegebenenfalls die Anbaufläche von Kulturen mit einem hohen Beregnungsbedarf reduzieren.

Falls die Wasserrechte der Landwirte nicht ausreichen sollten und noch weiterer Beregnungsbedarf besteht, dann sieht ein Teil der Forschung neben wirtschaftlichen Einbußen vor allem ökologische Probleme. So orientieren sich die Landwirte bei der Düngung am Ertragsoptimum und ein Abbrechen der Beregnung reduziert die Nährstoffaufnahme der Pflanzen. Somit verbleiben Nährstoffe ungenutzt im Boden, was eine Verstärkung der Nitratproblematik zur Folge hat.

In der Region sollte es aus Sicht der Wissenschaft so schnell wie möglich einen Konsens bezüglich des Gesamtwasserangebots in Trockenjahren geben. Denn andernfalls ist das Risiko für die Landwirte beim Anbau von Kulturen mit Zusatzwasserbedarf sehr hoch, da die Bewässerung zum Absichern von Erträgen und Qualitäten benötigt wird. Dies ist nur möglich, wenn auch in Trockenjahren ausreichende Wasserrechte zur Verfügung stehen. Mittelfristig kann die aktuelle Situation für die Betriebe existenzgefährdend sein.

Bewässerungssteuerung

Als Entscheidungshilfe für die Bewässerungssteuerung sollten die Landwirte nach Ansicht der Forschung eine Vielzahl an Faktoren berücksichtigen. So sollte die Witterungserwartung bei der Bewässerungsentscheidung auf jeden Fall mit einbezogen werden. Ebenso wird die Spatenprobe als weitere geeignete Informationsquelle für die Bewässerungssteuerung gesehen. Durch die Spatenprobe können die Bodenfeuchte und das Wurzelwachstum der Kultur gut eingeschätzt werden. Weitere Informationen zur Bewässerungssteuerung werden durch die Niederschlagsmessung am Schlag gewonnen. Bei Regenmessern mit Verdunstungsschutz ist es ausreichend, wenn dieser einmal in der Woche ausgeleert wird. Eine weitere Möglichkeit zur Informationsgewinnung stellt die Wasseruhr zur schlagspezifischen Erfassung bereits verabreichter Bewässerungsgaben dar.

Die Einzelgaben der Bewässerung sollten nach Ansicht der Forschung nicht zu gering bemessen sein, da ansonsten der Blattbestand öfter mit Nässe befeuchtet wird und dementsprechend öfters Wasser an der Oberfläche verdunsten kann. Darüber hinaus dringt bei größeren Einzelgaben das Wasser tiefer in den Boden hinein, wodurch das Wurzelwachstum in tiefere Bodenschichten gefördert wird und sich das Wurzelwerk entsprechend besser ausbilden kann. Kleine Bewässerungsgaben sollten nur zur Qualitätssicherung genutzt werden. Die Bewässerung sollte rechtzeitig vor der Ernte beendet werden, damit das restliche Bodenwasser genutzt wird.

Des Weiteren kann nach Einschätzung der Forschung ein Berater vor Ort hinzugezogen werden, um die Landwirte beim Bewässerungsmanagement zu unterstützen. Die Berater verfügen in der Regel über einen großen Erfahrungsschatz, kennen das Bewässerungsmanagement vieler Landwirte und sind Experten auf dem Gebiet der Bewässerungssteuerung. Folglich können die Berater den Landwirten fundiertes Wissen vermitteln, um die Bewässerung wassersparender und effizienter zu gestalten.

Modelle mit klimatischer Wasserbilanz sind nach Ansicht der Wissenschaft sehr gut zur Beurteilung der täglichen Verdunstung und des Bodenfeuchtegehaltes geeignet. Somit kann ein stabiler Durchschnittswert für die Fläche abgeleitet werden. So berechnet beispielsweise das Boden-Wasser-Modell Weihenstephan Bewässerungsintervalle und Gabenhöhe in Abhängigkeit von der Kultur. Über den Feuchtegrenzwert des Bodens wird die Intensität der Bewässerung kalibriert. Zudem ist die Intensität der Berechnung in hohem Maße von den Modelleinstellungen zur Bodenart abhängig. Die schlagspezifischen Niederschläge sollten in das Modell eingepflegt werden, um regional auftretende Starkniederschlagsereignisse zu erfassen und zu berücksichtigen. Über das Boden-Wasser-Modell kann die Bewässerung dokumentiert werden.

Der Einsatz von Bodenfeuchtesensoren wird von Seiten der Wissenschaft als teilweise problematisch eingeschätzt, da es für die Installation der Sensoren viel Erfahrung bedarf und das Ergebnis entsprechend der Positionierung des Sensors ausfällt. Der Einsatz von einfachen Tensiometern wird auf schweren Böden nicht empfohlen, da der Messbereich mit dem Saugspannungsbereich der Böden nicht übereinstimmt.

Umsetzbarkeit von pflanzenbaulichen Maßnahmen zur Wassereinsparung

Nach Ansicht der Forschung können verschiedene pflanzenbauliche Maßnahmen den Beregnungsbedarf vermindern. Das All-in-One-Verfahren beim Legen der Kartoffeln wird als wassersparend angesehen, da nur eine Bodenbearbeitungsmaßnahme durchgeführt wird. Jede weitere Bodenbearbeitung führt zu einer Verdunstung von circa 15 mm. Durch den Verzicht auf weitere Bodenbearbeitungsmaßnahmen kann die Evaporation verringert werden.

Durch Sortenwahl kann nach Einschätzung der Wissenschaft möglicherweise der Beregnungsbedarf reduziert werden, da die Sorten unterschiedlich empfindlich auf Trockenstress reagieren. Hierbei stellt die Durchwurzelungstiefe das entscheidende Kriterium für die Trockenresistenz einer Sorte dar. Allerdings wählen die Landwirte die Sorten vor allem nach Vermarktungsmöglichkeiten und weniger nach Aspekten der Trockentoleranz aus.

Durch den Verzicht auf sehr hohe Düngeintensitäten, insbesondere Stickstoff, kann nach Meinung der Forschung der Beregnungsbedarf vermindert werden. Durch reduzierte Stickstoffdüngung prägt sich der Blattapparat nicht übermäßig aus, was einen verringerten Wasserbedarf zur Folge hat.

Mulchsaat wird von Seiten der Forschung als sinnvoll und wassersparend eingeschätzt, sofern diese in der Praxis umgesetzt werden kann.

Optimierungsmöglichkeiten des Bewässerungsmanagements

Die Einschränkung der Überkopfberegnung während der Mittagszeit wird von Vertretern der Wissenschaft als sinnvoll eingestuft, da die Verdunstungsverluste reduziert werden können. Ebenso sollte auf die Überkopfberegnung bei Wind verzichtet werden, da die Verteilgenauigkeit problematisch ist. Ansonsten stellt die Schlauchtrommelberegnung ein sehr schlagkräftiges und arbeitswirtschaftlich gut geeignetes Verfahren der Bewässerung dar.

Tropfbewässerung würde im Vergleich zur Schlauchtrommelberegnung zu intensiverer und maximaler Beregnung mit höherer Beregnungsmenge bei Kartoffeln und Zwiebeln führen, da die Technik mit viel Aufwand installiert wurde und vermutlich in der Praxis entsprechend genutzt wird. Dennoch kann der Einsatz von Tropfbewässerung auf sehr leichten und trockenen Standorten sinnvoll sein, ebenso bei geringen Brunnenleistungen von etwa drei l/s.

Zudem kann die Tropfbewässerung für Direktvermarkter mit wenigen Hektar Anbaufläche empfohlen werden, wenn Beregnungswasser aus der Fernleitung genutzt wird.

Die Verteilgenauigkeit bei der Tropfbewässerung könnte durch druckkompensierte Tropfschläuche verbessert werden. Ebenfalls könnte die Verteilung durch den Austausch von veralteten Düsen oder Regnern optimiert werden. Durch den Einsatz von Mikrosprinklern wird ebenfalls Verbesserungspotential bei der Verteilgenauigkeit gesehen.

Die Bewässerungssteuerung kann nach Einschätzung der Wissenschaft durch Sensoren und Modelle mit klimatischer Wasserbilanz noch objektiver gestaltet werden, so dass eine exaktere Bestimmung des richtigen Bewässerungszeitpunktes möglich ist. Durch eine Automatisierung der Bewässerungssteuerung könnte die Bewässerung ebenfalls gezielter erfolgen. Allerdings ist der Wasserbedarf der Beregnung in der Praxis vermutlich geringer als verschiedene Modellberechnungen ergeben. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in den Versuchen die Pflanzen immer optimal mit Wasser versorgt wurden und auf Basis der Versuche die Bewässerungsmodelle geeicht wurden. Daher wären Bewässerungsversuche mit verringerter Wasserverfügbarkeit interessant, damit auf Basis von Modellen die Bewässerung möglicherweise mit reduzierter Intensität empfohlen wird. Beim Boden-Wasser-Modell Weihenstephan kann die Intensität der Bewässerung durch den Bodenfeuchtegrenzwert definiert werden und somit die Intensität der Beregnung vom Nutzer selbst festgelegt werden.

Organisationsform der Bewässerung

Nach Einschätzung der Forschung ist die Gründung eines Beregnungsverbandes interessant, da vermutlich höhere Wasserrechte beantragt werden können. Außerdem könnten die genehmigten Wasserrechte den Landwirten nicht mehr einfach genommen werden, was zu einer höheren Rechtssicherheit in sehr trockenen Jahren führt. Allerdings muss die Frage der Wirtschaftlichkeit und der Akzeptanz vor einer möglichen Verbandsgründung abschließend geklärt werden.

Gesellschaftliche Akzeptanz der Bewässerung und Verbesserungsmöglichkeiten

Nach Einschätzung der Forschung kann die Akzeptanz der Bewässerung gering sein, da Grundwasser als Trinkwasser in ausreichender Menge für kommende Generationen sichergestellt werden soll.

Verbesserungsmöglichkeiten werden von Seiten der Forschung darin gesehen, laute Dieselaggregate durch leise Elektroaggregate zu ersetzen. Weitere Ansatzpunkte stellen Informationsveranstaltungen und Öffentlichkeitsarbeit dar. Diese könnten von Ämtern beispielsweise im Rahmen eines Tages des offenen Hofes organisiert werden. Bei solchen Veranstaltungen könnte auf die fachliche Notwendigkeit der Bewässerung hingewiesen und in

die Öffentlichkeit getragen werden. Außerdem sollten verschiedene Kommunikationsmöglichkeiten (Internet, Presse) für die Öffentlichkeitsarbeit genutzt werden. In diesem Rahmen sollte auch die Zusammenarbeit der Beregnungslandwirte mit den Behörden dargestellt werden.

Künftige Entwicklung der Beregnungsfläche auf der Osterhofener Platte

Die künftige Entwicklung der Beregnungsfläche ist nach Meinung der Forschung vor allem von den politischen Entscheidungen und den daraus resultierenden Entnahmerechten abhängig. Eine Abwanderung von Intensivkulturen wie beispielsweise Einlegegurken wird im Vergleich zu 2015 erwartet.

5.5 Externe Vergleichsregionen

Für eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurden externe Experten aus dem Knoblauchsland und Hessen hinzugezogen. Somit ist eine gute Diskussionsgrundlage für den weiteren Verlauf der Arbeit gegeben.

5.5.1 Knoblauchsland

Das Experteninterview wurde mit einem Vertreter des Wasserverbandes Knoblauchsland geführt, um insbesondere Wasserrechte und Organisation eines Wasserverbandes näher zu erläutern. Nachfolgend werden diesbezüglich die zentralen Aussagen dargestellt.

Bedeutung der Beregnung für das Knoblauchsland

Die Bewässerung ist nach Einschätzung des Verbandes für das Knoblauchsland von existenzieller Bedeutung, denn ohne Bewässerung kann kein Gemüse- und Sonderkulturanbau betrieben werden. So sind in der Gemüseanbauregion circa 90 % der 2200 Hektar landwirtschaftlichen Nutzfläche über Privatbrunnen oder den Wasserverband Knoblauchsland beregnungsfähig.

Wasserentnahme, -rechte und -kosten

Ein kleiner Teil des Beregnungswassers wird aus dem Grundwasser durch Privatbrunnen entnommen, durch die circa 500 Hektar bewässert werden. Hauptsächlich stammt das Beregnungswasser aus dem Regnitztal. Von dort versorgt eine Beileitung das Knoblauchsland mit Wasser. Auf Grundlage der Wasserzuführung über die Beileitung wird eine Fläche von 850 Hektar mit durchschnittlich 2.000.000 m³ Beregnungswasser pro Jahr beregnet. Dieses Projekt wurde wegen der Übernutzung des oberen Grundwasservorkommens realisiert.

Der Wasserverband Knoblauchsland verfügt jährlich über eine gehobene Erlaubnis von 3,5 Millionen m³ Wasser für 870 Hektar Nutzfläche. In trockenen Jahren liegt der Verbrauch bei durchschnittlich 3500 m³ je Hektar. Somit stehen den Landwirten auch in trockenen Jahren ausreichend Wasserrechte zur Verfügung.

Die Baukosten für das Beileitungsprojekt aus dem Regnitztal betragen 16,5 Mio. €, wobei die Finanzierung des Projekts zu 50 % durch staatliche Zuschüsse und zu 50 % durch Eigenbeteiligung der Mitglieder erfolgte. Insgesamt setzen sich die Kosten für das Beregnungswasser aus verschiedenen Komponenten zusammen:

- Einmaliger Baukostenbeitrag zum Erwerb des Beregnungsrechtes: 18.500 €/ha
- Jährlicher Mitgliedbeitrag je angemeldeter Fläche: 100 €/ha
- Jährliche Grundgebühren für Strom: Circa 16 €/ha
- Betriebskostenbeitrag: Circa 25 ct/m³ Wasser

Die Organisation der Wasserbereitstellung im Verband

Die Aufgabe des Verbandes stellt die Bereitstellung von Beregnungswasser für die Mitglieder dar. So unterhält der Verband alle Anlagenteile bis hin zum Entnahmeschacht am Feld. Der Landwirt installiert dort einen Wasserzähler, der ebenfalls vom Verband gestellt wird.

Die Landwirte können nach Einschätzung des Verbandes jederzeit beregnen, weil die Wasseranschlüsse dauerhaft unter Druck stehen. Da die Anlagenkomponenten zur Wasserbereitstellung (Pumpwerke und Wasserspeicher) sehr groß dimensioniert sind, besteht für die Landwirte die Möglichkeit, dass die Beregnung überwiegend morgens oder abends zu verdunstungsschwachen Zeiten durchgeführt wird.

Beim Verband haben aktuell 274 Grundstückseigentümer Beregnungsrechte angemeldet. Die Beregnungsflächen werden von etwa 130 Betrieben bewirtschaftet.

Optimierungspotential der Beregnung

Potential zur Optimierung der Bewässerung wird von Seiten des Verbandes bei der Beratung sowie bei der Bewässerungssteuerung gesehen, da die Betriebe aufgrund der kleinstrukturierten Anbauflächen im Gebiet leicht den Überblick verlieren können. Außerdem wird bei der Schulung von Saisonarbeitskräften Potential zur Verringerung des Wasserbedarfs gesehen, da die teilweise nicht geschulten Arbeiter beispielsweise Ventile falsch einstellen und die Folge davon unnötig hohe Wassergaben sind.

Gesellschaftliche Akzeptanz

Nach Einschätzung des Wasserverbandes ist die Bewässerung im Knoblauchsland sehr akzeptiert, da das regional produzierte Gemüse von den Verbrauchern geschätzt wird.

5.5.2 Hessisches Ried

Das Experteninterview wurde mit einem Berater des LLH Hessen geführt, der die Landwirte im Rahmen des BMEL-Projekts zur Effizienzsteigerung der Bewässerungstechnik und des Bewässerungsmanagements im Freilandgemüsebau betreut hat. Im weiteren Verlauf werden die wichtigsten Aussagen und Einschätzungen der Beratung aus Hessen aufgeführt.

Zusatzwasserbedarf der Kulturen und Wasserrechte

In sehr trockenen und heißen Jahren kalkuliert die Beratung mit folgendem Zusatzwasserbedarf auf sehr guten Standorten:

- Speisekartoffeln: 80 l/m²
- Zwiebeln: 80 l/m²
- Salat: 150 l/m² (je Satz)

In Hessen sind aktuell Wasserrechte in ausreichendem Maße vorhanden, daher bestehen keine gravierenden Einschränkungen bei der Wasserentnahme. An der Ringleitung in Verbandsgebieten gibt es Beschränkungen bei der Wasserentnahme, die aktuell jedoch noch nicht knapp sind. Somit kann für den aktuellen Anbau ausreichend Wasser entnommen und dem Wasserbedarf der Kulturen entsprochen werden. Die entnommene Wassermenge wird durch Wasseruhren aufgezeichnet und muss von den einzelnen Mitgliedern bezahlt werden.

Für die Genehmigung neuer Brunnen ist ein umfassendes hydrogeologisches Gutachten notwendig. Auf Basis dessen wird die genehmigte Fördermenge festgelegt.

Für den Fall, dass die Wasserrechte nicht ausreichen, sollten die Betriebe nach Ansicht der Beratung die Bewässerung reduziert steuern und nicht am Optimum berechnen. Möglicherweise kann die Konzentration auf die wichtigste Kultur eine Option darstellen.

Herkunft des Berechnungswassers und Bewässerungstechnik der Betriebe

Die Ringleitung wird nach Einschätzung der Beratung vor allem aus dem Grundwasser durch Brunnengalerien gespeist. Ebenso spielen Uferfiltrat aus dem Rhein oder infiltrierte Rheinwasser, das in den Boden gepumpt und anschließend wieder aus dem Boden entnommen wird, bei der Wasserversorgung für die Berechnungsbetriebe eine bedeutende Rolle.

Aus Sicht der Beratung stellt die Schlauchtrommelberegnung die wirtschaftlichste, schlagkräftigste und in Hessen verbreitetste Form der Bewässerung bei Kartoffeln und Zwiebeln dar. Kartoffeln und Zwiebeln sind für diese Form der Beregnung robust genug, da nicht die gesamte Pflanze geerntet wird, sondern nur die Knolle. Nachteilig ist die schlechte Verteilgenauigkeit bei Wind. So schwankte bei wissenschaftlich nicht abgesicherten Versuchen am LLH Hessen die Verteilgenauigkeit von 5 bis 15 mm bei einer Windstärke von 4 m/s. Rohrberegnung und Tropfbewässerung werden bei diesen beiden Kulturen eher weniger eingesetzt, da die Rohrberegnung keine wirtschaftliche Option darstellt und bei der Tropfbewässerung die Bergetechnik nicht ausgereift ist. Ein weiteres Problem bei Tropfbewässerung stellt Schorf bei Kartoffeln dar. So trat Schorf bei Versuchen im Rahmen des BMEL-Projekts zur Effizienzsteigerung der Bewässerungstechnik in Niedersachsen auf.

Die Betriebe verfügen nach Einschätzung der Beratung über vier bis fünf Rohrtrommelberegnungsanlagen für 70 Hektar Beregnungsfläche. Die Betriebe bewässern auch tagsüber, jedoch treten während längerer Hitzeperioden bei den Betrieben Kapazitätsengpässe auf.

Bewässerungssteuerung

Die Landwirte berücksichtigen aus Sicht der Beratung eine Vielzahl an Faktoren bei der Bewässerung. So werden als Entscheidungshilfe bei der Ermittlung des Bewässerungsbedarfes persönliche Erfahrungen, Wetterprognose sowie Spatenprobe herangezogen. Ebenso wird die Bewässerung auf Basis von Tensiometern und Geisenheimer Modell gesteuert.

Sensoren sind laut Beratung nur für die Tropfbewässerung geeignet. Hierbei stellt das Tensiometer einen gut geeigneten Sensor dar. Ebenso kann durch TDR-Sensoren das Bodenwasser volumetrisch bestimmt werden. Somit kann eine Tendenz für die Entwicklung des Wasserhaushaltes im Boden abgeleitet werden.

Die Geisenheimer Steuerung ist nach Einschätzung der Beratung zur Ermittlung der täglichen Verdunstung geeignet. Allerdings ist die tägliche Aktualisierung sehr aufwändig und die Bedienung könnte noch etwas anwenderfreundlicher gestaltet werden.

Umsetzbarkeit von pflanzenbaulichen Maßnahmen zur Wassereinsparung

Aus Sicht der Beratung sind durch Mulchsaat-Kartoffeln verstärkt phytosanitäre Probleme wegen eines höheren Pilzdrucks zu erwarten, da der Bestand nicht mehr so schnell abtrocknet.

Die Bodenbedeckung von Salat wird von Seiten der Beratung als Möglichkeit zur Reduzierung des Beregnungsbedarfes gesehen. So wurden im Rahmen des BMEL-Projektes sehr gute

Erfahrungen mit biologisch abbaubarer Mulchfolie auf einem Pilot-Betrieb gesammelt. Der Betriebsleiter möchte den Anbau mit Mulchfolie künftig ausweiten, da auf Herbizideinsatz verzichtet werden kann und der Salat bei der Vermarktung sauberer ist.

Nach Einschätzung der Beratung gibt es bei Kartoffeln und Salat möglicherweise trockenstresstolerante Sorten und der Beregnungsbedarf könnte verringert werden. Allerdings erfolgt die Sortenwahl in der Praxis vor allem nach vermarktungsentscheidenden Kriterien.

Optimierungsmöglichkeiten des Bewässerungsmanagements

Die Landwirte können die Energiekosten durch richtige Dimensionierung und Druckregelung der Zuleitungsrohre erheblich verringert werden. Ebenso beeinflusst die Materialwahl der Rohre die Energiekosten. So können durch den Austausch von alten Guss-Rohrleitungen durch neue PVC-Rohre die Reibungsverluste und somit die Energiekosten reduziert werden. Durch die Anschaffung neuer Turbinen bei Rohrtrommelberegnungsanlagen können die Energiekosten ebenfalls gesenkt werden.

Die Logistik bei der Beregnung könnte nach Ansicht der Beratung durch das Managementprogramm „Rain Dancer“ verbessert werden.

Laut Beratung sollte auf die Schlauchtrommelberegnung bei Wind verzichtet werden, da die Verteilung zu ungenau ist.

Aus Sicht der Beratung sollte die Bewässerung und das Nährstoffmanagement zusammen betrachtet werden, da insbesondere Auswaschung und Nährstoffverluste bei der Bewässerung minimiert werden sollten.

Organisationsform der Bewässerung

In Hessen gibt es nach Kenntnissen der Beratung kaum mehr einzelbetriebliche Wasserrechte. Insbesondere in Südhessen sind nur Beregnungsverbände für die Mitglieder aktiv, da auf eine sehr lange Tradition der Verbände zurückgeblieben werden kann. Dadurch besteht ein sehr großer verwaltungstechnischer Vorteil sowohl für die Behörden als auch für die Landwirte.

Die variablen Kosten für das Beregnungswasser betragen im Verbandsgebiet Griesheim circa 23 ct/m³ und für aufbereitetes Rheinwasser 30 ct/m³.

Gesellschaftliche Akzeptanz der Bewässerung und Verbesserungsmöglichkeiten

Nach Einschätzung der Beratung in Hessen ist die gesellschaftliche Akzeptanz der Bewässerung vor allem in ländlichen Regionen gegeben. Die Beratung in Hessen versucht das Ansehen der Bewässerung zu verbessern, indem sie Feldtage auf Betrieben durchführt.

Damit kann die Akzeptanz bei Behörden (Landwirtschaft und Wasserwirtschaft) sowie Öffentlichkeit unterstützt werden. Ebenso versucht das LLH Hessen als staatlich neutrale Stelle zwischen Kritikern und Landwirten zu vermitteln.

Durch Veröffentlichungen in regionalen Zeitungen wird in Hessen ebenfalls versucht, die Bevölkerung aufzuklären und zu beteiligen. Hierbei soll die Botschaft vermittelt werden, dass das Wasser bei der Beregnung nicht vergeudet wird, sondern Bewässerung aus fachlicher und betrieblicher Sicht durchgeführt werden muss, da ohne Bewässerung keine Erzeugung von regionalem Gemüse möglich ist.

Künftige Entwicklung der Beregnungsfläche

Nach Einschätzung der Beratung wird Bewässerung für immer mehr Betriebe interessant werden. Insbesondere die Auswirkungen des Klimawandels können die weitere Entwicklung an Bewässerungsfläche maßgeblich beeinflussen.

6 Diskussion

Im Rahmen der Diskussion werden die wesentlichen Bewässerungskulturen auf der Osterhofener Platte analysiert. Darauf aufbauend wird das Bewässerungsmanagement aus regionaler sowie gesellschaftlicher Sicht interpretiert und mit den Bewässerungsregionen Hessisches Ried sowie dem Knoblauchsland verglichen. Im nächsten Schritt werden Strategien zur Verbesserung des Bewässerungsmanagements abgeleitet und diese auf Sinnhaftigkeit sowie Umsetzbarkeit in der Praxis evaluiert. Abschließend wird die zukünftige Entwicklung der Beregnungsfläche abgeschätzt und es werden künftige Herausforderungen für die Beregnungsbetriebe dargelegt. Im ersten Teil der Diskussion werden Material und Methoden auf wissenschaftlich fundierte Vorgehensweise untersucht.

6.1 Diskussion Material und Methodik

Im Rahmen der Beurteilung der Ergebnisse aus den Interviews bedarf es einer kritischen Diskussion, welche methodischen Potentiale und Risiken aus einer Expertenbefragung zur Beantwortung der Forschungsfrage resultieren können (KAISER, 2014, pp. 127-128). Nachfolgend wird neben der methodischen Vorgehensweise die Auswahl und Qualität der Interviewpartner analysiert.

Ein wesentlicher Vorteil von Experteninterviews liegt darin, dass diese eine „konkurrenzlos dichte Datengewinnung“ im Vergleich zu anderen Untersuchungsformen ermöglichen (BOGNER et al., 2005, pp. 7). Nach BIMAZUBUTE (2005) stellen Experteninterviews eine effiziente Methode der Wissensakquisition dar, insbesondere da Gespräche mit Fachleuten die wirkungsvollste Art der Informationsbeschaffung sind. So stellt die Auswahl und Verfügbarkeit der Experten ein wichtiges Gütekriterium bei Experteninterviews dar (KAISER, 2014, pp. 128-136). Für die Interviews konnten 15 Experten gewonnen werden, lediglich ein Interview wurde aus Zeitmangel sowie mangelnder Auskunftsbereitschaft des Experten nicht durchgeführt. Somit konnte eine sehr gute Erfolgsquote bei den Interviews realisiert werden. Die Experten vermittelten während der Interviews oftmals weitere Gesprächspartner, sodass weitere Fachleute für die Datenerhebung gewonnen werden konnten, zu denen der Autor keinen Zugang gehabt hätte. Die Qualität der Interviews kann als hervorragend eingeschätzt werden, da die Interviewpartner über langjährige Erfahrungen sowie außerordentliches Wissen zum Themenfeld Bewässerung verfügen. Zudem ist positiv zu beurteilen, dass alle Interviews planmäßig durchgeführt werden konnten, da kein Interview aus Zeitdruck abgebrochen werden musste. Aufgrund der befragten Interviewpartner können alle wesentlichen Bewässerungskulturen auf der Osterhofener Platte berücksichtigt und es kann eine breite Datenbasis zum Thema Bewässerung auf der Osterhofener Platte durch

verschiedene Expertenfelder erworben werden. Durch die Befragung von Experten aus externen Vergleichsregionen ist zudem der Quervergleich zu weiteren Bewässerungsregionen möglich.

Einen Schwachpunkt der Befragung kann die Beeinflussung des Interviewers auf die Gesprächsführung darstellen (GLÄSER and LAUDEL, 2010, pp. 120-123). Aus diesem Grund sind eine Schulung des Interviewers sowie eine sorgfältige Strukturierung der Fragen und des Leitfadens sehr wichtig, damit das Forschungsergebnis nicht verzerrt wird. So wurde der Leitfaden im Rahmen des Pretests evaluiert, sodass alle Fragestellungen verständlich formuliert und alle wesentlichen Felder abgedeckt werden konnten.

Nach KAISER (2014) ist bei Experten die Neigung gegeben, dass diese im Sinne sozialer Erwünschtheit antworten. Dies kann besonders bei Betriebs- sowie Deutungswissen auftreten (KAISER, 2014, pp. 130). Im Rahmen der Interviews war dies möglicherweise bei den Kriterien für die Bewässerungssteuerung und bei der Höhe der maximalen Bewässerungsgabe der Fall. Hierbei ließen die gesellschaftlichen Erwartungen zu einer möglichst geringen Beregnungsmenge und möglichst faktenbasierten Bewässerungssteuerung bei Beantwortung der Fragen tendieren. Eine geringere Neigung zur Beantwortung der Fragen im Rahmen sozialer Erwünschtheit war bei den Themenfeldern Praxisbezug, Optimierungsmöglichkeiten sowie künftigen Herausforderungen zu erwarten.

Ursprünglich war die Aufnahme der Experteninterviews mit dem Diktiergerät zur Datensicherung geplant. Allerdings wurde dieses Vorhaben beim ersten Gesprächstermin abgelehnt und deshalb auf eine Aufnahme mit Tonband in den weiteren Gesprächen verzichtet. Somit gaben die Experten möglicherweise sensible Informationen preis, die sie ansonsten in einer „Beobachtungssituation“ im Rahmen einer Interviewaufzeichnung vorenthalten hätten. Die Sicherung der Informationen erfolgte bereits während des Gesprächs durch Notizen im Leitfaden, welcher unverzüglich nach Beendigung des Gesprächs auf Basis der Notizen sowie des Gedächtnisprotokolls vervollständigt wurde. Das hat den Nachteil, dass das Datenmaterial bereits unbewusst gefiltert wurde. Allerdings konnte dieser Nachteil behoben werden, indem die Experten den Fragebogen nachträglich freigaben. So wurde den Interviewpartnern der bearbeitete Leitfaden zugeschickt, um möglicherweise Ergänzungen vornehmen zu können. Das war von Seiten mancher Experten gewünscht, da diese teilweise schlechte Erfahrungen mit falschen Darstellungen in der Presse machten. Bei einzelnen Interviews wurden noch einige wesentliche Informationen ergänzt, wodurch das Datenmaterial noch an Aussagekraft für die Arbeit gewann.

Problematisch kann sich die Auswertung und Typisierung der Ergebnisse gestalten, da die gewonnenen Daten aus Experteninterviews aufgrund der Offenheit und geringen

Standardisierung nicht statistisch ausgewertet werden können (KAISER, 2014, pp. 3) (KOCH, 2012, pp. 49). Ebenso kann sich die Interpretation der Ergebnisse als schwierig erweisen, da persönliche Wertungen sowie Zielvorstellungen in die Ergebnisse mit einfließen können (KOCH, 2012, pp. 263).

Insgesamt können die Experteninterviews als eine sehr gut geeignete Methode zur Beantwortung der Forschungsfrage gesehen werden. Die Verfügbarkeit der Experten und die Qualität der Befragungen können als hervorragend eingeordnet werden. Die möglichen methodischen Schwachpunkte der Expertenbefragung wurden weitestgehend berücksichtigt und behoben. Somit konnte der Autor der Neuartigkeit und Komplexität des Themas in seiner Gänze gerecht werden. Auf Basis der Ergebnisse kann die IST-Situation auf der Osterhofener Platte analysiert und weitere Optimierungsmöglichkeiten für die Berechnungslandwirte abgeleitet werden.

6.2 Analyse wesentlicher Bewässerungskulturen auf der Osterhofener Platte

Die flächenmäßige Bedeutung von Kartoffeln, Zwiebeln, Einlegegurken sowie Salat auf der Osterhofener Platte wird nachfolgend dargelegt. Im weiteren Verlauf wird auf die Bedeutung der Bewässerung für die einzelnen Kulturen sowie die maximale Höhe des Zusatzwasserbedarfs in einem heißen und trockenen Sommer eingegangen. Abschließend wird die Umsetzbarkeit von pflanzenbaulichen Maßnahmen zur Verringerung des Zusatzwasserbedarfs analysiert.

6.2.1 Anbaufläche der Bewässerungskulturen

Auf der Osterhofener Platte sind die Bewässerungskulturen in die landwirtschaftliche Fruchtfolge integriert. So hat der Anbau von Weizen, Zuckerrüben und Mais die flächenmäßig größte Ausdehnung. Die Anbaufläche von Kartoffeln, Zwiebeln, Einlegegurken und Salat betrug in 2015 insgesamt 14 % der landwirtschaftlich nutzbaren Fläche (MAUSSNER, 2016b) (Abb. 23). Bei den Bewässerungskulturen haben Kartoffeln die größte Bedeutung, ebenso sind Zwiebeln und Gurken bedeutend. Da nicht alle Betriebe auf der Osterhofener Platte Kartoffeln und Zwiebeln bewässern, ist die tatsächliche Beregnungsfläche etwas geringer als die Anbaufläche. Flächenmäßig weitgehend vernachlässigt werden kann Salat, daher wird dieser im weiteren Verlauf der Diskussion meist nicht berücksichtigt. In 2016 ging der Anbau von Zwiebeln leicht und von Einlegegurken erheblich zurück. Der Rückgang der Gurkenfläche wird von den Experten darauf zurückgeführt, dass Pachtbetriebe in 2016 dazu tendierten, die Osterhofener Platte aufgrund der unsicheren Wasserrechte zu meiden.

Im Vergleich dazu ist das Knoblauchsland eine reine Gemüseanbauregion, in der fast ausschließlich Gemüse produziert wird. Dementsprechend wird der größte Teil der Flächen bewässert.

Insgesamt hat die Bewässerung für das Knoblauchsland im Vergleich zur Osterhofener Platte eine höhere Bedeutung, da nahezu das komplette Gebiet bewässert wird, während auf der Osterhofener Platte maximal 15 % der Fläche bewässert werden. Dennoch stellt die Bewässerung für spezialisierte Hackfrucht- und Feldgemüsebetriebe der Osterhofener Platte ein sehr wichtiges Produktionsverfahren dar. Aufgrund der unsicheren Wasserrechte auf der Osterhofener Platte ist besonders der Anbau von Gurken in 2016 erheblich zurückgegangen.

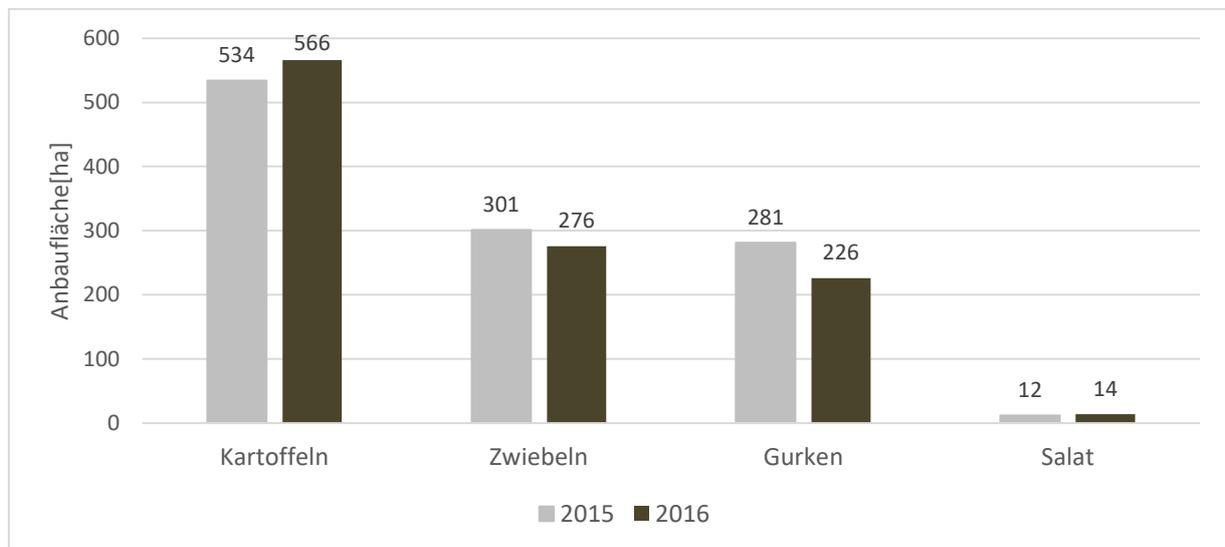


Abb. 23: Anbaufläche von Kartoffeln, Zwiebeln, Gurken und Salat auf der Osterhofener Platte in 2015 und 2016

Quelle: (MAUSSNER, 2016b)

6.2.2 Beregnungsbedürftigkeit

Beregnungsbedürftigkeit ist gegeben, wenn die Erzeugung von ausreichenden Qualitäten und Erträgen bei bestimmten Kulturen ohne Beregnung nicht sichergestellt werden kann (SEIS et al., 2016, pp. 135). Auf der Osterhofener Platte sind die Standortbedingungen hervorragend und es liegen sehr gute Voraussetzungen für die Pflanzenproduktion vor. Daher ist die Beregnungsbedürftigkeit aufgrund der kulturspezifischen Ansprüche gegeben. Nachfolgend wird die Beregnungsbedürftigkeit von Kartoffeln, Zwiebeln, Einlegegurken sowie Salat interpretiert.

Durch Bewässerung können Ertragsschwankungen bei Kartoffeln verringert und hohe Qualitäten (Mindestgröße, Schalenbeschaffenheit, Form) sichergestellt werden (MÜLLER et al.,

2016). Die Experten beurteilen die Bewässerung ebenfalls als sehr wichtig, um Erträge und Qualitäten abzusichern. Durch eine gleichmäßige Sortierung und hohe Qualitäten kann ein besserer Preis bei der Vermarktung erzielt werden. In der Vergangenheit hatten manche Betriebsleiter die Erfahrung gemacht, dass bei unbewässerten Kartoffeln während längerer Hitzeperioden Probleme mit Schwarzfleckigkeit und Zwiewuchs auftraten, was zu erheblichen Vermarktungsproblemen führte. Diese Probleme konnten bei bewässerten Kartoffeln vermieden werden. Daher hat die Bewässerung bei Kartoffeln eine sehr große Bedeutung zur Absicherung der Qualitäten und Erträge.

Beregnung stellt beim Anbau von Zwiebeln die entscheidende Voraussetzung für Ertrags- und Qualitätssicherung dar (AELF LANDSHUT et al., 2015, pp. 87). Die Experten beurteilen die Bewässerungsnotwendigkeit bei Zwiebeln ebenso wie bei Kartoffeln, so dass durch Beregnung eine Qualitäts- und Ertragsabsicherung gewährleistet wird. Nur so können die Betriebe die vertraglich fixierten Qualitäten absichern und Vermarktungsprobleme reduzieren. Somit kann der Bewässerung von Zwiebeln eine sehr große Bedeutung zugewiesen werden.

Einlegegurken können bei Wassermangel die Früchte und männlichen Blüten abstoßen, was erhebliche Ertrags- und Qualitätseinbußen zur Folge hat (AELF LANDSHUT et al., 2015, pp. 41). Ebenso sehen die Experten keine Möglichkeit, den Anbau von Einlegegurken ohne Bewässerung durchzuführen. Daher kann die Bewässerung für Gurkenbetriebe als existentiell eingeordnet werden, weil ohne Bewässerung keine Wirtschaftlichkeit gewährleistet werden kann.

Bei Kopfsalat kann Trockenstress zu Blattnekrosen oder vergilbten Blättern führen, wodurch die gesamte Ware nicht mehr vermarktet werden kann (BELAU et al., 2013, pp. 36). Die Experten sehen ebenso keine Möglichkeit, den Salatanbau ohne Bewässerung durchzuführen. Daher ist die Bewässerung für die Betriebe mit Salatanbau existenziell, da ohne Beregnung keine Wirtschaftlichkeit sichergestellt werden kann.

Insgesamt ist die Bewässerung auf der Osterhofener Platte notwendig, um bei Kartoffeln und Zwiebeln die Erträge und Qualitäten abzusichern. Bei Einlegegurken und Salat ist die Bewässerung existentiell, da ohne Beregnung kein wirtschaftlicher Anbau möglich ist.

6.2.3 Höhe des Zusatzwasserbedarfs

Auf Basis der Ergebnisse aus den Experteninterviews wird der Zusatzwasserbedarf für die einzelnen Bewässerungskulturen in einem heißen und trockenen Sommer auf der Osterhofener Platte analysiert. Die Einschätzung der Experten wird mit den Berechnungen

des Boden-Wasser-Modells zum Wasserbedarf in 2015 verglichen, wobei als Bodenart schluffiger, tiefgründiger Lehm vorausgesetzt wurde.

Der Zusatzwasserbedarf für Kartoffeln wurde im Rahmen der Experteninterviews auf 80 bis 150 l/m² eingeordnet (Abb. 24). Der geringste Bewässerungsbedarf wurde von der Beratung in Hessen gesehen, der höchste von Seiten der Beratung in Niederbayern. Drei Landwirte schätzen den Beregnungsbedarf auf 90 bis 100 l/m² ein. Im Vergleich dazu berechnet das Boden-Wasser-Modell für 2015 einen Zusatzwasserbedarf von 60 l/m² bei niedriger Intensität, von 90 l/m² bei mittlerer Intensität sowie von 120 l/m² bei hoher Intensität (ALB BAYERN, 2017) (Abb. 25). Insgesamt kann der Zusatzwasserbedarf bei Kartoffeln auf etwa 90 bis 120 l/m² eingeordnet werden, da die meisten Experten den Zusatzwasserbedarf so beurteilen. Dies würde der mittleren bis hohen Intensitätsstufe des Boden-Wasser-Modells entsprechen.

Der Zusatzwasserbedarf für Zwiebeln wurde laut der Experteninterviews auf 80 bis 300 l/m² eingeordnet (Abb. 24). Der geringste Bewässerungsbedarf wurde von der Beratung in Hessen gesehen, der höchste von einem Vertreter der Wissenschaft. Ein Vertreter der Wissenschaft, der in hohem Maße von den anderen Ergebnissen der Experten abweicht. Daher wird dieser Wert im weiteren Verlauf nicht näher interpretiert. Die fünf befragten Landwirte sehen den Zusatzwasserbedarf bei 135 bis 150 l/m². Im Vergleich dazu berechnet das Boden-Wasser-Modell für 2015 einen Zusatzwasserbedarf von 90 l/m² bei niedriger Intensität, von 120 l/m² bei mittlerer Intensität sowie von 150 l/m² bei hoher Intensität (ALB BAYERN, 2017) (Abb. 25). Insgesamt kann der Zusatzwasserbedarf bei Zwiebeln auf 135 bis 150 l/m² eingestuft werden, da alle Landwirte sowie zwei weitere Fachleute den Zusatzwasserbedarf derartig beurteilen. Dies würde der hohen Intensitätsstufe des Boden-Wasser-Modells entsprechen.

Der Zusatzwasserbedarf für Einlegegurken wurde von den Experten auf 200 bis 375 l/m² eingeordnet (Abb. 24). Der geringste Bewässerungsbedarf wurde von einem Landwirt gesehen, der höchste von einem Vertreter der Wissenschaft. Dieser weicht wiederum in hohem Maße von den anderen Ergebnissen der Experten ab, daher wird dieser Wert im weiteren Verlauf nicht näher interpretiert. Der Großteil der Experten schätzt den Beregnungsbedarf auf 240 bis 265 l/m² ein. Im Vergleich dazu berechnet das Boden-Wasser-Modell für 2015 den Zusatzwasserbedarf auf 192 l/m² bei niedriger Intensität, auf 258 l/m² bei mittlerer Intensität sowie auf 300 l/m² bei hoher Intensität (ALB BAYERN, 2017) (Abb. 25). Insgesamt kann der Zusatzwasserbedarf für Einlegegurken auf etwa 240 bis 260 l/m² eingeschätzt werden, was der mittleren Intensitätsstufe des Boden-Wasser-Modells entsprechen würde. Ein Landwirt beurteilt die Bewässerung auf seinem Betrieb als sehr wassersparend und würde nach eigener Einschätzung mit maximal 200 l/m² bewässern. Dies zeigt, dass in der Praxis möglicherweise noch Potential vorhanden ist, die Bewässerung bezüglich des Wasserverbrauchs bei Einlegegurken zu optimieren.

Der Zusatzwasserbedarf für einen Satz Salat wurde im Rahmen der Experteninterviews auf 65 bis 150 l/m² eingeordnet (Abb. 24). Der geringste Bewässerungsbedarf wurde von einem Landwirt gesehen, der höchste von einem Berater aus Hessen. Die weiteren Experten schätzen den Zusatzwasserbedarf auf 70 bis 90 l/m² ein. Im Vergleich dazu berechnet das Boden-Wasser-Modell für 2015 einen Zusatzwasserbedarf von 71 l/m² bei niedriger Intensität, von 92 l/m² bei mittlerer Intensität sowie von 92 l/m² bei hoher Intensität (ALB BAYERN, 2017) (Abb. 25). Insgesamt kann der Wasserbedarf für einen Salat auf 65 bis 90 l/m² eingeordnet werden, was der niedrigen bis mittleren Intensitätsstufe des Boden-Wasser-Modells entsprechen würde. Der befragte Landwirt beurteilt die Bewässerung auf seinem Betrieb als sehr wassersparend und schätzt den maximalen Zusatzwasserbedarf auf 65 l/m² ein. Dies zeigt, dass in der Praxis möglicherweise noch Potential vorhanden ist, die Bewässerung bezüglich des Wasserverbrauchs bei Salat zu optimieren.

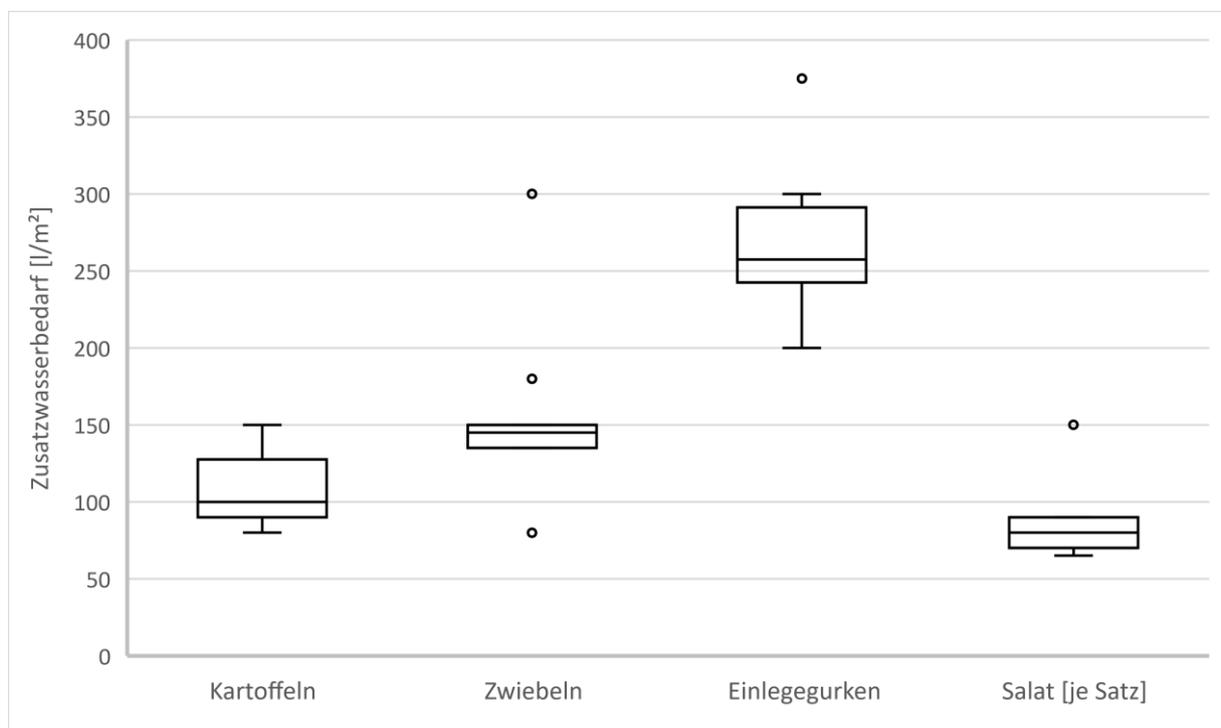


Abb. 24: Experteneinschätzung zum Zusatzwasserbedarf für ausgewählte Kulturen auf der Osterhofener Platte für einen heißen und trockenen Sommer

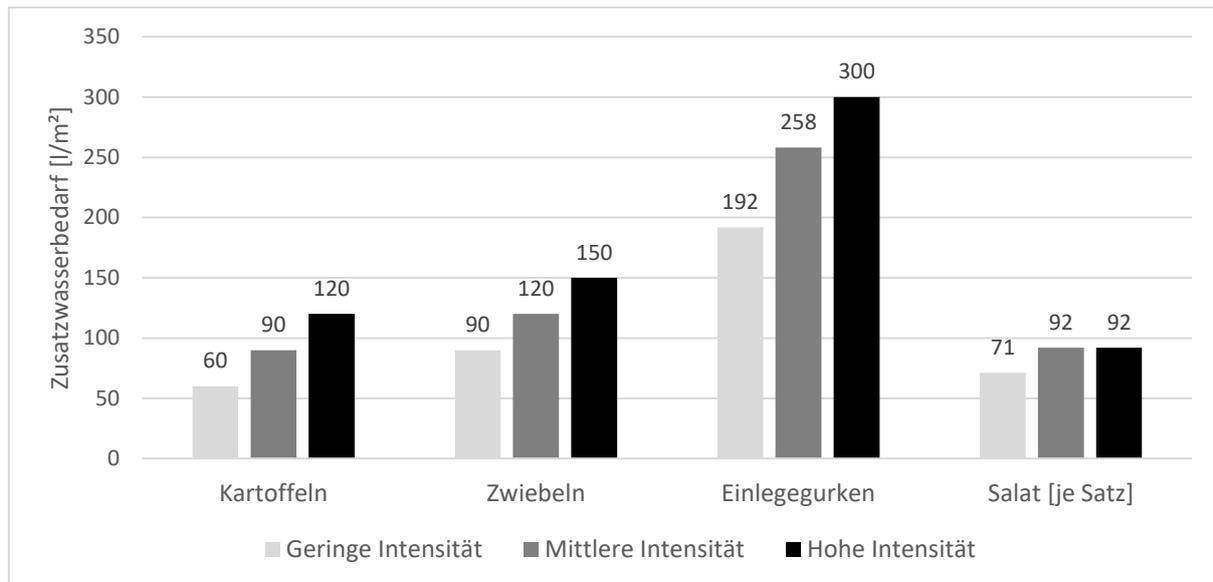


Abb. 25: Berechnung des Zusatzwasserbedarfs für ausgewählte Kulturen auf Basis des Boden-Wasser-Modells am Standort Neusling in 2015

Quelle: (ALB BAYERN, 2017)

Insgesamt haben Einlegegurken den höchsten Zusatzwasserbedarf auf der Osterhofener Platte. Dieser kann in einem heißen und trockenen Sommer auf etwa 240 bis 260 l/m² eingeordnet werden. Zwiebeln haben einen Zusatzwasserbedarf von 135 bis 150 l/m² und Kartoffeln benötigen für die Bewässerung maximal 90 bis 120 l/m². Für die Bewässerung von einem Satz Salat beträgt der Zusatzwasserbedarf 65 bis 90 l/m², wobei im Laufe des Jahres bis zu drei Sätze gepflanzt werden können, was zu einem deutlich höheren Wasserbedarf bei Salat führt. Zudem wurde aufgrund der Interviews deutlich, dass die Landwirte den Wasserbedarf meist etwas geringer einschätzen als die weiteren Experten.

6.2.4 Pflanzenbauliche Maßnahmen zur Steigerung der Wassernutzungseffizienz

Durch verschiedene pflanzenbauliche Maßnahmen wie beispielsweise reduzierte Bodenbearbeitung, Sortenwahl oder Mulchbedeckung kann der Beregnungsbedarf möglicherweise verringert werden. Nachfolgend wird der Erfolg dieser Maßnahmen bewertet und die Umsetzbarkeit in der Praxis analysiert.

Durch reduzierte Bodenbearbeitung kann die Speicherkapazität von Wasser im Boden verbessert werden (DRASTIG et al., 2010, pp. 22). Somit kann der Beregnungsbedarf möglicherweise verringert werden. In der Praxis führt der Verzicht auf den Pflug zu einem verstärkten Unkrautdruck bei Kartoffeln und Zwiebeln. Die Folge davon ist ein erhöhter Herbizid-Einsatz, der die Entwicklung der Kartoffeln und Zwiebeln beeinträchtigt. Zusätzlich ist

der Pflug zur Einarbeitung der Durchwuchskartoffeln notwendig. Daher ist eine reduzierte Bodenbearbeitung vor dem Anbau von Kartoffeln und Zwiebeln in der Praxis nur schwierig umsetzbar. Bei Salat wird aus phytosanitären Gründen eine Bodenbearbeitung mit dem Pflug durchgeführt. Somit wird durch die Einarbeitung der Salatreste für einen „reinen Tisch“ gesorgt, wodurch das Infektionspotential aus den Ernteresten verringert wird, bevor der neue Satz gepflanzt wird. Daher ist eine reduzierte Bodenbearbeitung bei Salat nicht umsetzbar.

Bei jeder Bodenbearbeitungsmaßnahme verdunsten circa 15 mm Wasser. Durch die Verringerung der Anzahl an Bodenbearbeitungsmaßnahmen kann der Bewässerungsbedarf reduziert werden. Das All-In-One Legeverfahren bei Kartoffeln verringert die Anzahl der Überfahrten, somit verdunstet weniger Bodenfeuchte. In der Praxis funktioniert die All-In-One Legetechnik sehr gut und wird von immer mehr Betrieben eingesetzt. Daher stellt dieses Verfahren eine geeignete Lösung zur Reduzierung des Beregnungsbedarfs dar.

Durch eine gezielte Auswahl von trockenoleranten Sorten kann die Wassereffizienz erhöht werden (DRASTIG et al., 2010, pp. 25). Von Seiten der Saatgutfirmen wird ein geringer Beregnungsbedarf mancher Sorten aktiv beworben. Allerdings konnten im Rahmen von Bewässerungsversuchen bei Zwiebeln in keinem Versuchsjahr Sortenunterschiede bei der Trockenstresstoleranz beziehungsweise bei der Beregnungsbedürftigkeit hinsichtlich des marktfähigen Ertrages (> 40 mm) festgestellt werden (LFULG, 2015, pp. 123). Auch von Seiten der Beratung wird ein geringer Wasserbedarf mancher Sorter als „PR-Gag“ eingestuft. In der Praxis erfolgt die Sortenwahl vor allem nach Vermarktungsmöglichkeiten. So kann beispielsweise eine Salatsorte, die extra auf einen sehr geringen Zusatzwasserbedarf gezüchtet wurde, nicht vermarktet werden, da diese „holzig“ schmecke. Daher lässt sich eine Wassereinsparung durch Sortenwahl nicht realisieren, auch wenn manche Saatgutfirmen bestimmte Sorten aus Marketinggründen als besonders wassersparend bewerben. Künftig wird das Merkmal Trockenoleranz in der Züchtungsarbeit verstärkt Berücksichtigung finden, so dass in naher Zukunft vermehrt Sorten mit verbesserter Trockenstresstoleranz in der Praxis Bedeutung erlangen werden.

Durch eine Mulchdecke kann die Luftfeuchtigkeit besser absorbiert und die Wassereffizienz gesteigert werden (DRASTIG et al., 2010, pp. 22). Somit kann der Beregnungsbedarf durch eine Bodenbedeckung mit Mulchsaat verringert werden. In der Praxis führt Mulchsaat bei Kartoffeln zu Problemen mit Drahtwurm und Schneckenfrass. Zusätzlich können vermehrt phytosanitäre Probleme aufgrund eines höheren Pilzdrucks auftreten, da der Bestand nicht mehr so zügig abtrocknen kann. Die Ernte der Mulchsaat-Kartoffeln kann sich ebenfalls schwieriger gestalten als bei Flächen ohne Mulchsaat. Aufgrund der vielen Schwierigkeiten lässt sich Mulchsaat in der Praxis nur sehr eingeschränkt umsetzen und ist daher nur bedingt empfehlenswert.

Bei Zwiebeln führt Mulchsaat zu einem höheren Schädlingsdruck, der ebenfalls durch Schnecken und Drahtwurm verursacht wird. Diese Problematik wird künftig verschärft, da die letzten noch zugelassenen Saatgut-Insektizidbeizen auslaufen. Zudem wird für die Aussaat eine spezielle Mulch-Sätechnik benötigt, da die Montage von einfachen Mulchmaterial-Schneidescheiben nicht ausreicht. Diesbezüglich wird von Seiten der Landwirte noch Entwicklungsbedarf bei den Technikherstellern gesehen. Aufgrund der vielen Schwierigkeiten wird die Mulchsaat in der Praxis vor allem im Hügelland zum Erosionsschutz umgesetzt. Auf flachem Gelände ist die Mulchsaat aufgrund der oben genannten Schwierigkeiten nur bedingt empfehlenswert. Künftig bleibt abzuwarten, ob eine Mulchsaat bei Zwiebeln nach Auslauf der letzten Saatgut-Insektizidbeizen noch in der Praxis durchgeführt werden kann.

Durch einen Windschutz kann die Windgeschwindigkeit auf den Feldern verringert werden. Somit kann die Verdunstung und der Beregnungsbedarf reduziert werden (ALLEN et al., 1998). In der Praxis werden bei passenden Gurkenfeldern mehrere Maisreihen alle 42 Meter angebaut. Daher kann der Maisanbau als Windschutz im Gurkenanbau eine geeignete Maßnahme zur Reduzierung des Beregnungsbedarfs darstellen.

Insgesamt stehen den Landwirten nur in begrenztem Umfang pflanzenbauliche Maßnahmen zur Verringerung des Zusatzwasserbedarfs zur Verfügung, die in der Praxis umgesetzt werden können. So ist eine reduzierte Bodenbearbeitung nur mit erheblichen Schwierigkeiten zu realisieren. Im Gegensatz dazu findet das All-In-One Legeverfahren bei Kartoffeln immer mehr Verbreitung in der Praxis. Die Landwirte werden bei der Mulchsaat von Kartoffeln sowie Zwiebeln vor erhebliche Herausforderungen gestellt. Die Sortenwahl erfolgt meist nach Vermarktungsaspekten und weniger nach Trockenstresstoleranz. Mais ist als Windschutz im Gurkenanbau verbreitet.

6.3 Analyse der IST-Situation auf der Osterhofener Platte im Quervergleich zu weiteren Bewässerungsregionen

Im Rahmen der IST-Analyse wird die Situation auf der Osterhofener Platte mit den weiteren Bewässerungsregionen Knoblauchland sowie Hessen verglichen. Hierbei werden die verschiedenen „Managementaspekte“ der Bewässerung diskutiert, die in der Praxis für eine optimale Beregnung von Bedeutung sind. So wird die Organisation des Beregnungswassers unter Berücksichtigung der Wasserrechte analysiert. Im weiteren Verlauf werden die Bewässerungstechnik und Bewässerungssteuerung der Landwirte interpretiert. Abschließend wird die gesellschaftliche Akzeptanz der Bewässerung eingeordnet.

6.3.1 Wasserrechte

Nachfolgend werden die Wasserrechte auf der Osterhofener Platte kulturspezifisch analysiert. Darauf aufbauend werden die Wasserrechte auf der Osterhofener Platte mit Hessen und dem Knoblauchsland verglichen.

Auf Basis der Experteninterviews wurden die einzelbetrieblichen Wasserrechte der befragten Landwirte auf der Osterhofener Platte auf 30 bis 70 l/m², teilweise auch auf 120 bis 150 l/m² eingeordnet. Der kulturspezifische Zusatzwasserbedarf beträgt für Kartoffeln 90 bis 120 l/m² und für Zwiebeln 135 bis 150 l/m². Die Wasserrechte der Kartoffel- und Zwiebelbetriebe reichen in einem heißen und trockenen Sommer auf einigen Flurstücken aus. Im Gegensatz dazu sind die Landwirte bei anderen Schlägen auf eine Erhöhung der Wasserrechte angewiesen, um über genügend Wasserrechte für die Beregnung zu verfügen. Insgesamt liegen für die Beregnung von Kartoffeln meistens Wasserrechte in ausreichender Menge vor, während bei Zwiebeln viele Betriebsleiter auf eine Erhöhung der Wasserrechte angewiesen sind. Somit ist das Risiko der Wasserrechte beim Anbau von Kartoffeln überschaubar, während das Risiko beim Zwiebelanbau als höher eingestuft werden kann. Zur Risikoabsicherung wäre die Unterteilung von manchen Feldern eine Option, um die Wasserrechte zu kumulieren. Allerdings ist dies oft nur bedingt umsetzbar, da die Betriebe ihre Flächen oftmals in der ganzen Region verstreut haben.

Auf Basis der Experteninterviews konnte festgestellt werden, dass die einzelbetrieblichen Wasserrechte für den Anbau von Gurken deutlich zu niedrig bemessen sind. So wird der Zusatzwasserbedarf für Gurken von einem Großteil der Experten auf 240 bis 260 l/m² in einem heißen und trockenen Sommer beziffert. Daher sind alle Betriebe in einem trockenen Jahr in höchstem Maße von einer Erhöhung der Wasserrechte abhängig. Eine Unterteilung der Flächen zur Kumulierung der Wasserrechte ist ebenfalls in der Praxis aufgrund der hohen Beregnungsintensität nur sehr bedingt zu realisieren. Insgesamt ist der Anbau von Gurken mit einem sehr hohen Risiko behaftet.

In den externen Vergleichsregionen, Hessen sowie dem Knoblauchsland, werden die Wasserrechte von den Verbänden beantragt. So „werfen“ alle Betriebe ihre Wasserrechte gemeinschaftlich zusammen, wodurch die Wasserrechte optimal ausgenutzt werden können. Dementsprechend verfügen die Betriebe über ausreichend Beregnungswasser, um dem kulturspezifischen Wasserbedarf zu decken. So werden beispielsweise im Knoblauchsland in einem heißen und trockenen Sommer auf Beregnungsflächen etwa 350 l/m² verbraucht, was durch entsprechende Wasserrechte des Verbandes abgesichert wird. Ebenso sind in Hessen Wasserrechte in ausreichendem Maße vorhanden, um den kulturspezifischen Zusatzwasserbedarf zu entsprechen. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die

Verfügbarkeit von Beregnungswasser in Hessen und dem Knoblauchsland kein Risiko darstellt und Wasserrechte in ausreichendem Maße für die Beregnungsbetriebe zur Verfügung stehen. Somit stellt die Organisation des Beregnungswassers über Verbände einen wesentlichen Standortvorteil im Vergleich zu den einzelbetrieblichen Wasserrechten auf der Osterhofener Platte dar.

Insgesamt ist aufgrund der Wasserrechte der Anbau von Kartoffeln auf der Osterhofener Platte mit geringem Risiko behaftet, der Anbau von Zwiebeln mit mittlerem Risiko und der Anbau von Gurken mit sehr hohem Risiko. Diese Einschätzung spiegelt auch die Entwicklung der Anbaufläche auf der Osterhofener Platte wider. So wurde in 2016 die Kartoffelfläche im Vergleich zum Vorjahr um 6 % ausgedehnt, während die Zwiebelfläche um 8 % zurückging und der Anbau von Gurken sogar um 20 % eingeschränkt wurde. Im Vergleich dazu stehen in den betrachteten Verbandsregionen den Landwirten ausreichende Wasserrechte zur Verfügung. Somit haben die Landwirte in diesen Verbandsgebieten beim Anbau von Beregnungskulturen kein Risiko aufgrund von nicht ausreichenden Wasserrechten in einem heißen Sommer, was einen erheblichen Wettbewerbsvorteil gegenüber den Landwirten auf der Osterhofener Platte darstellen kann.

6.3.2 Bewässerungstechnik

Vor dem Hintergrund von regional auftretender Wasserknappheit ist insbesondere die Effizienz (Verteilgenauigkeit/ Verdunstung) des Bewässerungsverfahrens von entscheidender Bedeutung (DIRKSMEYER, 2009). Nachfolgend werden verschiedene Bewässerungsverfahren, auch unter Berücksichtigung von kulturspezifischen und wirtschaftlichen Aspekten, diskutiert.

Auf der Osterhofener Platte stellt die Überkopfberegnung mit Schlauchtrommelberegnung das verbreitetste Verfahren bei Kartoffeln und Zwiebeln dar. Insbesondere die hohe Schlagkraft und die geringe Kapitalintensität im Vergleich zu anderen Bewässerungsverfahren sind hervorzuheben (BELAU et al., 2013, pp. 60-73). Die wesentlichen Nachteile, hohe Verdunstungsverluste sowie eine schlechte Verteilung bei Wind, werden dahingehend minimiert, da die Überkopfberegnung von 10 bis 17 Uhr behördlich verboten wurde und bei starkem Wind auf Beregnung verzichtet werden muss. Somit stellt die Schlauchtrommelberegnung ein geeignetes und flexibles Bewässerungsverfahren für die Landwirte dar. Insbesondere in Jahren, in denen beispielsweise keine Beregnung von Kartoffeln sowie Zwiebeln notwendig ist, fällt kein zusätzlicher Arbeitsaufwand bei der Schlauchtrommelberegnung an.

Die Tropfbewässerung wird in der Literatur als Bewässerungstechnik mit dem effizientesten Zusatzwasserverwertung beschrieben (BELAU et al., 2013, pp. 68-73). Die Ergebnisse der

Experteninterviews können so interpretiert werden, dass die Tropfbewässerung in der Praxis zu eher höheren Bewässerungsmengen bei Kartoffeln führen würde, da die Technik mit hohem Kapital- und Arbeitsaufwand installiert werden muss. Im Laufe der Beregnungsperiode würde die Tropfbewässerung dann entsprechend genutzt. Problematisch gestaltet sich die Bergung über die Schläuche, weil die Bergetechnik der Tropfschläuche noch nicht ganz ausgereift ist. Insgesamt kann die Tropfbewässerung nur als bedingt geeignetes Bewässerungsverfahren für Kartoffeln auf der Osterhofener Platte eingeordnet werden, da die Bonität des Bodens sehr hoch ist und die Osterhofener Platte in einem relativ niederschlagsreichem Gebiet mit 750 mm Jahresniederschlag liegt (AGARMETEOROLOGIE BAYERN, 2017). Auf Böden mit geringerer Bonität sowie niederschlagsärmeren Standorten ist ein deutlich höherer Bewässerungsbedarf zu erwarten. Daher kann auf diesen Standorten die Tropfbewässerung ein geeignetes Bewässerungsverfahren darstellen. Bei Zwiebeln kann die Tropfbewässerung als nicht geeignetes Bewässerungsverfahren charakterisiert werden, da der Reihenabstand bei den Zwiebeln zu klein ist, um die Zwiebeln entsprechend mit Wasser über Tropfschläuche zu versorgen.

Der Düsenwagen wird in der Literatur als Weiterentwicklung der Rohrtrommelberegnungsanlage beschrieben, dessen Vorteile in geringeren Energiekosten, einer besseren Genauigkeit der Verteilung sowie einer verringerten Windanfälligkeit liegen (BELAU et al., 2013, pp. 61-62) (VIEHWEG, 1997). Allerdings wurde im Rahmen der Experteninterviews ersichtlich, dass eine schwierige Maschinenbedienung in der Praxis, eine höhere Beregnungsintensität sowie höhere Kapitalkosten die wesentlichen Nachteile des Düsenwagens darstellen. Von Seiten der Experten wird besonders die fehlende Wirtschaftlichkeit des Düsenwagens kritisiert. Daher stellt der Düsenwagen nur ein bedingt geeignetes Bewässerungsverfahren für Kartoffeln und Zwiebeln dar.

Die Rohrberegnung wird in der Literatur als Bewässerungsverfahren mit einem sehr hohem Installationsaufwand sowie einer mäßigen Wasserverteilung beschrieben (KLEBER, 2014) (KREß, 2014, pp. 39). Diese Einschätzung wurde von den Experten im Rahmen der Interviews geteilt. Zudem kann keine ausreichende Wirtschaftlichkeit bei Kartoffeln und Zwiebeln sichergestellt werden. Daher kann zusammenfassend interpretiert werden, dass die Rohrberegnung für Kartoffeln und Zwiebeln kein geeignetes Bewässerungsverfahren darstellt.

Insgesamt kann die Schlauchtrommelberegnung für die Bewässerung von Kartoffeln und Zwiebeln als das geeignetste Verfahren auf der Osterhofener Platte hervorgehoben werden. In der externen Vergleichsregion „Hessisches Ried“ werden Kartoffeln und Zwiebeln ebenfalls überwiegend mit Schlauchtrommelberegnungsanlagen bewässert. Somit liegen keine Unterschiede in der Bewässerungstechnik zwischen den beiden Vergleichsregionen vor.

Bei Einlegegurken stellt die Tropfbewässerung das Standard-Verfahren der Landwirte auf der Osterhofener Platte dar. In der Literatur wird die Tropfbewässerung als Bewässerungstechnik mit dem effizientesten Zusatzwasserbedarf beschrieben (BELAU et al., 2013, pp. 68-73). Auch in den Experteninterviews wird das Verfahren Tropfbewässerung mit Mulchfolie als sehr effizient beurteilt. So kann bei Einlegegurken die Verdunstung durch eine Mulchfolie verringert werden. Zudem sind kleine Bewässerungsgaben in kurzen Zeitabständen möglich, wodurch die Wasserversorgung des Bestandes optimal gesteuert werden kann. Einen weiteren, wesentlichen Vorteil der Tropfbewässerung stellt die Fertigation dar. So kann der Ertrag durch Fertigation nach MOSLER (1999) auch in relativ feuchten Jahren bei Einlegegurken gesteigert werden, was in der Praxis entsprechend umgesetzt wird. Insgesamt kann das Verfahren der Tropfbewässerung mit Mulchfolie bei Einlegegurken als System beurteilt werden, das kaum mehr verbessert werden kann und optimal an die Anforderungen der Gurkenproduktion angepasst ist.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die aktuell verbreiteten Verfahren der Bewässerung sehr gut an die Anforderungen des Standortes und der Kulturen angepasst sind. Diese Verfahren sind auch hinsichtlich des Arbeitsaufwandes sowie der Wirtschaftlichkeit optimiert, sodass bei der Bewässerungstechnik keine praxistaugliche, bessere Option gesehen wird.

6.3.3 Bewässerungssteuerung

Durch eine optimale Versorgung mit Wasser können die Landwirte hohe Erträge sowie geforderte Qualitäten erzielen. Gleichzeitig sollen die Bewässerungsgaben so gesteuert werden, dass die Bewässerung aufgrund von hohen Arbeits-, Energie- und Wasserkosten auf das notwendige Maß beschränkt und die Versickerung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln minimiert wird. Nachfolgend werden die verschiedenen Kriterien diskutiert, auf deren Basis die Landwirte ihre Entscheidung zur Bewässerung treffen. Im weiteren Verlauf der Diskussion wird schwerpunktmäßig auf die Bewässerungssteuerung durch klimatische Wasserbilanzen sowie Sensoren eingegangen.

Im Rahmen der Experteninterviews wurde deutlich, dass die interviewten Landwirte eine Vielzahl an Kriterien für die Entscheidung zur Bewässerung heranziehen. Persönliche Erfahrungswerte sind für die Landwirte besonders wichtig, um den Start sowie die Höhe der Bewässerung zu bestimmen. So werden die Schläge und Kulturen vor Ort betrachtet und die Bodenfeuchte wird durch die Spaten- oder Fingerprobe untersucht. Dadurch erhalten die Landwirte vor Ort einen guten Überblick über die Feuchtigkeit des Bodens sowie die Pflanzenbestände auf den verschiedenen Flächen. Als weiteres Kriterium zur Bewässerungsentscheidung nutzen die Landwirte die Wetterprognose. Somit kann eine

Tendenz für den künftigen Zusatzwasserbedarf abgeleitet werden, wobei die Wettervorhersage mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sein kann. Manche Betriebsleiter versuchen das Wachstum von Salat und Einlegegurken durch reduzierte Bewässerung etwas einzubremsen, um das Wachstum der Pflanzen an Betriebsabläufe sowie Vermarktungstermine anzupassen. Bei Kartoffeln versuchen die befragten Landwirte während extremer Hitzeperioden den Damm durch kleine Bewässerungsgaben abzukühlen, um Zwiewuchs zu verhindern und die Qualität der Kartoffeln abzusichern. Insgesamt können sich die Landwirte durch die Vielzahl an Kriterien einen sehr guten Überblick über die Kultur- und Bodenverhältnisse vor Ort machen. Kritisch zu beurteilen ist, dass die betrachteten Kriterien subjektiv und nicht messbar sind. Diesbezüglich werden im weiteren Verlauf der Diskussion „objektive“ Methoden zur Bewässerungssteuerung analysiert. Dennoch kann das Erfahrungswissen der Betriebsleiter als sehr gute Entscheidungsgrundlage gesehen werden, um beispielsweise das Wachstum des Bestandes zu steuern oder die Qualität in Phasen extremer Hitze abzusichern. Zudem können die Landwirte die Bonität ihrer Flächen am besten einschätzen und den daraus resultierenden Bewässerungsbedarf gezielt ableiten. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Kombination der betrachteten Kriterien wichtige und fundierte Bausteine zur Bewässerungssteuerung darstellen, auf deren Basis die Landwirte über eine sehr gute Entscheidungsgrundlage zur Bewässerungssteuerung verfügen.

Als weitere Entscheidungshilfe wird von den Landwirten auf der Osterhofener Platte die Beratung des Erzeugerrings für Gemüsebau Straubing in Anspruch genommen. Diese erfolgt über das „Erzeugerring-Fax“, aber auch vor Ort auf den Betrieben. Im Rundschreiben des Erzeugerrings wird auf einen möglichen Zusatzwasserbedarf bei den verschiedenen Kulturen hingewiesen. Hierbei wird der kulturspezifische Bewässerungsbedarf in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium sowie von der Reifegruppe erläutert. Daher können die Landwirte die Bewässerung in Abhängigkeit vom Bedarf der Pflanze steuern. Zusätzlich wird die tägliche Verdunstung an die Betriebe kommuniziert. Somit kann die Verdunstung zwischen den Bewässerungsgaben von den Landwirten besser beurteilt werden. Insgesamt erhalten die Landwirte durch das Expertenwissen der Beratung sehr viele objektive Informationen zu den einzelnen Berechnungskulturen. Durch Kombination der persönlichen Erfahrungswerte mit dem Expertenwissen der Erzeugerringberatung verfügen die Landwirte über eine hervorragende Informationsgrundlage, um den Zusatzwasserbedarf für die einzelnen Kulturen in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium zu steuern.

Die Geisenheimer Bewässerungssteuerung wird in Bewässerungsversuchen des LFULG (2015) als nicht ressourcenschonend für den Zwiebelanbau beschrieben, insbesondere, da sehr hohe Bewässerungsgaben von bis zu 298 mm empfohlen wurden und deutlich geringere

Intensitäten kaum Ertragsrückgänge zur Folge hatten. Die detaillierten Versuchsergebnisse können unter dem Gliederungspunkt 2.3.2.2 nachgeschlagen werden. Darüber hinaus kann das Modell nicht mit Anwenderfreundlichkeit überzeugen. Selbst wurde das Modell im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter betrachtet und bewertet. Daher stellt die Geisenheimer Bewässerungssteuerung kein praktikables und wassersparendes Modell dar, das als Ergebnis dieser Arbeit in der Praxis empfohlen werden kann.

Auf Basis des Boden-Wasser-Modells können die Landwirte Informationen zur Verdunstung, Versickerung sowie Terminierung der Bewässerungsgaben in Abhängigkeit von Standort und Kultur beziehen. Durch die Option, die Bewässerung mit verschiedenen Intensitäten durchzuführen, kann der Landwirt selbst entscheiden, wie „wassersparend“ bewässert wird. Das Boden-Wasser-Modell wurde im Rahmen der Experteninterviews von manchen Landwirten als nicht wassersparend beurteilt. Diese Einschätzung basiert darauf, dass in 2016 bei Zwiebeln bei der Modelleinstellung „mittlere Intensität“ eine Bewässerungsgabe von 30 l/m² empfohlen wurde (ALB BAYERN, 2017) (Abb. 26). In der Praxis wurde von den meisten Landwirten auf eine Bewässerung verzichtet, da die kurz darauf folgenden, ergiebigen Niederschläge abgewartet wurden. Dieses Beispiel verdeutlicht, dass die Berücksichtigung vieler Kriterien notwendig ist, damit die Bewässerung optimal und wassersparend gesteuert werden kann.

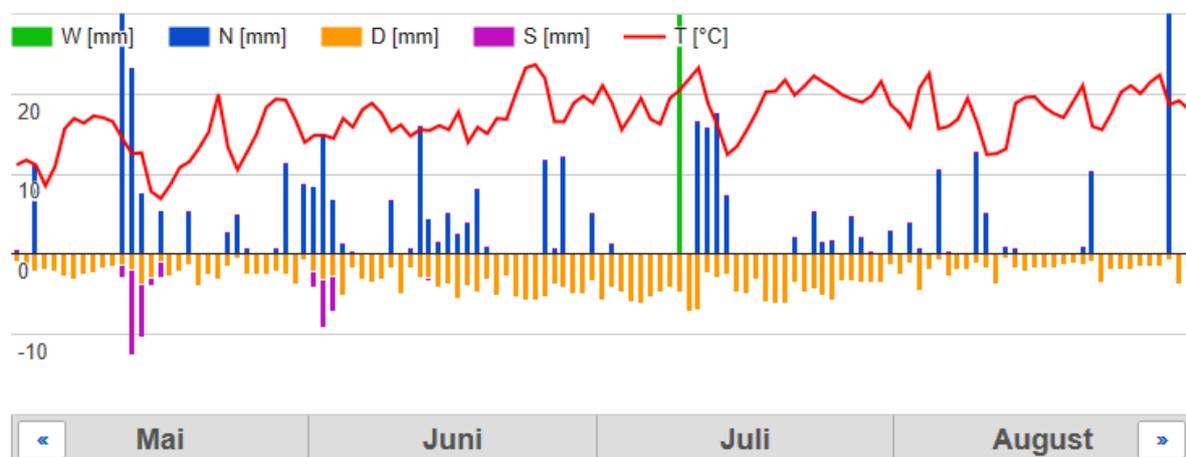


Abb. 26: Boden-Wasser-Modell: Witterungsverlauf und Bewässerungsempfehlung für Zwiebeln am Standort Neusling für das Jahr 2016

Quelle: (ALB BAYERN, 2017)

Wie bereits im Gliederungspunkt 6.2.3 erläutert, hätten die Experten in einem heißen und trockenen Jahr wie 2015 mit mittlerer bis hoher Intensität bewässert. Daraus lässt sich eine Übereinstimmung des Modells mit den Einschätzungen der Fachleute ableiten. Somit kann das Modell in hohem Maße als praxistauglich beurteilt werden. Positiv hervorzuheben ist die anwenderfreundliche Gestaltung des Modells. Durch die grafische Aufbereitung der

Ergebnisse wird die Nachvollziehbarkeit unterstützt. Insgesamt können die Landwirte Informationen zur Verdunstung, Versickerung sowie Terminierung der Bewässerungsgaben in Abhängigkeit von Standort und Kultur in einer Grafik kompakt dargestellt erhalten. Durch die Option, die Bewässerung mit verschiedenen Intensitäten durchzuführen, kann der Landwirt selbst entscheiden, wie „wassersparend“ die Kulturen bewässert werden sollen. Nachteilhaft ist, dass die Niederschläge vor Ort in das Modell eingepflegt werden sollten. Zwar rechnet das Modell mit den Niederschlägen der nächstgelegenen Wetterstation, aber hierbei wird keine lokale Differenzierung vorgenommen. Insgesamt kann das Boden-Wasser-Modell in der Praxis empfohlen werden, da es eine anwenderfreundliche sowie praxisnahe Entscheidungshilfe zur Bewässerung darstellt. Künftig ist eine verstärkte Verbreitung des Boden-Wasser-Modells in der Praxis zu erwarten, da es einen Beitrag zur „Objektivierung“ und „Messbarkeit“ der Bewässerungssteuerung leisten kann.

Tensiometer werden in der Literatur als bestes Instrument zur Steuerung von Einlegegurken gesehen, da die Ein- und Ausschaltpunkte der Bewässerung direkt am pflanzenverfügbaren Wasser abgelesen werden können (HACKL et al., 2015, pp. 88). Die Experten beurteilen Tensiometer weniger positiv. So sollte bei Tensiometer berücksichtigt werden, dass diese die Feuchtigkeit nur punktuell messen und das Ergebnis in hohem Maße von der Positionierung abhängig ist. Zudem bedarf es für die Installation viel Erfahrung. Bei schweren Böden sollte auf den Einsatz von Tensiometern verzichtet werden, da der Messbereich mit dem Saugspannungsbereich der Böden nicht übereinstimmt. Dennoch können Tensiometer wertvolle Hinweise zur Wasserversorgung des Bodens liefern und ein geeignetes Kontrollinstrument im Gurkenanbau darstellen, um die Sickerwasserbildung unterhalb der Wurzelzone zu kontrollieren. Somit kann der Einsatz von Tensiometern im Gurkenanbau empfohlen werden. Bei Überkopfberegnung von Kartoffeln und Zwiebeln kann die Wasserverteilung ungleichmäßiger als bei Tropfbewässerung sein. Daher kann das Messergebnis mit zu vielen Unsicherheiten behaftet sein, so dass die Ergebnisse des Tensiometers sind nur bedingt aussagekräftig sind. Deshalb können Tensiometer bei überkopfberegneten Kartoffeln und Zwiebeln nur in sehr eingeschränktem Maße als sinnvoll betrachtet werden.

Zusammenfassend kann das Bewässerungsmanagement der Landwirte sehr positiv bewertet werden, da die Landwirte über sehr großes Wissen zur Bewässerungssteuerung verfügen und viele verschiedene Kriterien bei der Bewässerungsentscheidung berücksichtigen. In der Praxis ist das Boden-Wasser-Modell zur Steuerung von Bewässerungskulturen überaus geeignet. Tensiometer können vor allem Gurkenbetrieben wichtige Informationen zur Wasserversorgung des Bodens liefern. Möglicherweise kann die Bewässerung auf manchen

Betrieben noch wassersparender gestaltet werden, allerdings ist eine Verringerung des Zusatzwasserbedarfs nur in einem begrenzten Umfang realisierbar.

6.3.4 Einordnung der gesellschaftlichen Akzeptanz

Die Landwirtschaft wird im Allgemeinen zunehmend kritisch von Gesellschaft, Verbänden und Parteien hinterfragt. Die Beregnung auf der Osterhofener Platte stand in 2015 im Mittelpunkt des öffentlichen Interesses. Nachfolgend werden die Einflüsse und Ursachen für die niedrigen Grundwasserstände auf der Osterhofener Platte analysiert. Im weiteren Verlauf werden daraus resultierende Entwicklungen interpretiert sowie gesellschaftliche Tendenzen zur Akzeptanz der Bewässerung abgeleitet. Darüber hinaus wird die gesellschaftliche Akzeptanz der Bewässerung im Knoblauchsland sowie in Hessen informativ dargelegt.

Der Grundwasserstand sank auf der Osterhofener Platte in 2015 auf den tiefsten Stand seit 1973 (STINGL, 2016). Die Folge davon war, dass Hausbrunnen trockenfielen. Die Situation gestaltete sich für die betroffenen Haushalte und Betriebe besonders kompliziert, da diese nicht an die öffentliche Fernwasserversorgung angeschlossen waren. Für den sehr niedrigen Grundwasserstand werden die trockenen Winter seit 2013 mitverantwortlich gemacht. Welchen Anteil die Bewässerung am sehr niedrigen Grundwasserstand genau hatte, kann nicht mehr abschließend geklärt werden, da die Grundwasserentnahme nicht durch Wasseruhren überprüft werden konnte. Dennoch zeigen Berechnungen der verschiedenen Fachbehörden auf, dass in 2015 der Wasserbedarf zur Bewässerung auf der Osterhofener Platte erheblich höher war, als die sieben großen, industriellen Wasserverbraucher des Landkreises Deggendorf zusammen entnahmen. Daraus kann eine enorme Bedeutung der Bewässerung für den Grundwasserstand abgeleitet werden.

Insbesondere die Überkopfberegnung bei Hitze war Gegenstand der öffentlichen Debatte, da die Verdunstungsverluste bei Sonnenschein am höchsten sind. Hierbei werden in Versuchen Wasserverluste von bis zu 45 % genannt, allerdings lassen theoretische Überlegungen auf Basis der Kombination des Eddy-Kovarianz Messsystems mit der Saftstrommessung auf niedrigere Verdunstungsverluste schließen (SOURELL et al., 2012). Deshalb kann die Höhe der Verdunstungsverluste nicht wissenschaftlich interpretiert werden. Eine direkte Folge der Diskussion um die Verdunstungsverluste durch die Überkopfberegnung war, dass die Überkopfberegnung von 10 bis 17 Uhr vom Wasserwirtschaftsamt verboten wurde (STINGL, 2016). Das Verbot gilt auch an bewölkten Tagen, da die Kontrolle einfach und klar geregelt sein soll. Von Seiten der Landwirte wird kritisiert, dass die zeitliche Regulierung der Überkopfberegnung nicht an die Witterung angepasst ist und dementsprechend die Schlagkraft der Betriebe verringert wird.

Die befragten Landwirte beurteilen die gesellschaftliche Situation durchaus unterschiedlich. Manche Betriebsleiter sehen die Bewässerung auf ihrem Betrieb von der Öffentlichkeit akzeptiert. Andere Landwirte wurden mitunter von Gesellschaft und Berufskollegen im Zuge der Diskussion um das Trockenfallen der Brunnen heftig kritisiert. Inwieweit das Pachtpreisniveau auf der Osterhofener Platte die Intensität der Diskussion beeinflusst hat, kann im Rahmen der Arbeit nicht beurteilt werden. Nach Aussagen der Landwirte haben Presseberichte die Bewässerung auf der Osterhofener Platte keineswegs positiv dargestellt. Insgesamt wird die gesellschaftliche Akzeptanz auf der Osterhofener Platte als mäßig eingeordnet, da bei vielen Personen die kritische Berichterstattung im Rahmen der Diskussion um das Trockenfallen der Brunnen im Gedächtnis sein dürfte.

Im Knoblauchsland wurde das obere Grundwasservorkommen durch Beregnung übernutzt. Durch eine Beileitung von Wasser aus dem Regnitztal konnte diese Problematik behoben werden. Im Zuge der Projektumsetzung wurden Pumpwerke und Wasserspeicher so groß dimensioniert, dass im Verbandsgebiet vorrangig zu verdunstungsschwachen Zeiten in den Morgen- oder Abendstunden beregnet wird. Somit konnten im Vergleich zur Osterhofener Platte zwei wesentliche Kritikpunkte an der Bewässerung behoben werden. Das erzeugte Gemüse wird regional vermarktet, was insbesondere von den Verbrauchern geschätzt wird. Zudem funktioniert die Zusammenarbeit zwischen Verband, Behörden und Landwirten sehr gut. Die Öffentlichkeit wird im Rahmen des „Tages der offenen Tür“ der Betriebe im Knoblauchsland informiert, welche Aspekte bei der Erzeugung von Gemüse berücksichtigt werden müssen. Insgesamt kann die gesellschaftliche Akzeptanz der Bewässerung als sehr gut angesehen werden, da im Vergleich zur Osterhofener Platte die wesentlichen Kritikpunkte an der Bewässerung behoben wurden und im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit die fachliche Notwendigkeit der Bewässerung dargestellt wird.

In Hessen ist die gesellschaftliche Akzeptanz der Bewässerung vor allem in ländlichen Regionen gegeben, wobei in stadtnahen Gebieten die Bewässerung durchaus kritisch betrachtet werden kann. Von Seiten der Behörden wird versucht, durch fachliche Veranstaltungen sowie Veröffentlichungen von Fachartikeln in regionalen Medien das Bewusstsein für Notwendigkeit der Bewässerung zur Gemüseproduktion im Bewusstsein der Öffentlichkeit zu stärken. Daher kann die Akzeptanz der Bewässerung im Vergleich zur Osterhofener Platte in Hessen als deutlich besser betrachtet werden.

Im Ganzen gesehen kann die gesellschaftliche Akzeptanz der Bewässerung regional in hohem Maße differenzieren. Während die Beregnung auf der Osterhofener Platte durchaus kritisch beurteilt wird, kann die Akzeptanz der Bewässerung in den Verbandgebieten Hessen sowie Knoblauchsland als gut bis sehr gut eingeordnet werden. Insbesondere die Verbände können

zu einem breiten Konsens zwischen Landwirten, Behörden und Gesellschaft beitragen, was die gesellschaftliche Akzeptanz fördern kann.

6.4 Strategien zur Optimierung des Bewässerungsmanagements und Bewertung der Strategien hinsichtlich Sinnhaftigkeit und Umsetzbarkeit in die Praxis

Im Rahmen der Optimierung des Bewässerungsmanagements werden verschiedene Strategien diskutiert, wie das „Management“ auf der Osterhofener Platte im Speziellen, aber auch im Allgemeinen verbessert werden kann. Diesbezüglich werden Strategien für die Themengebiete Wasserrechte, Bewässerungssteuerung sowie gesellschaftliche Akzeptanz abgeleitet und diese werden auf Sinnhaftigkeit sowie Umsetzbarkeit in der Praxis evaluiert.

6.4.1 Wasserrechte

Aus den Ergebnissen der Experteninterviews wurde deutlich, dass die Wasserrechte für die Landwirte auf der Osterhofener Platte in einem heißen und trockenen Sommer oftmals nicht ausreichend sind. Nachfolgend werden verschiedene Strategien diskutiert, wie die Landwirte auf der Osterhofener Platte die Wasserrechte erhöhen und ob diese Strategien in der Praxis umgesetzt werden können.

Die Landwirte in Hessen sowie im Knoblauchsland verfügen über ausreichende Wasserrechte für die Beregnung. Die historisch gewachsenen Strukturen der Beregnungsverbände weisen gegenüber der einzelbetrieblichen Wasserorganisation vor allem den Vorteil auf, dass die Wasserrechte aller Landwirte „zusammengeworfen“ werden, so dass diese optimal ausgenutzt werden können. Daher verfügen die Landwirte in den Verbandsgebieten über eine hohe Planungssicherheit. Zudem stellt die „Infrastruktur“ des Verbandes einen arbeitswirtschaftlichen Vorteil dar, da das Beregnungswasser direkt am Feldrand bereitgestellt wird. Der bürokratische Aufwand für die Landwirte kann durch Beregnungsverbände ebenfalls verringert werden, da beispielsweise Gutachten sowie Wasserrechtsanträge über einen Verband organisiert werden können (AST et al., 2014). Nachteilig an einem Verband ist, dass der Verwaltungsaufwand von den Mitgliedern bezahlt werden muss. Insgesamt betrachtet hat aber der Verband gegenüber den einzelbetrieblichen Wasserrechten vor allem den Vorteil, dass die Landwirte über deutlich höhere Wasserrechte verfügen und diese in Trockenperioden schwieriger eingeschränkt werden können. Allerdings ist fraglich, ob ein neu gegründeter Wasserverband auf der Osterhofener Platte die gleichen Wasserrechte erhalten würde, über welche die Verbände in Hessen oder im Knoblauchsland seit vielen Jahren verfügen. Im Rahmen der Experteninterviews wurde deutlich, dass für einen Teil der Landwirte die

Gründung eines Verbandes interessant ist, während der andere Teil die Gründung eines Verbandes ablehnt. Dennoch wird von den meisten Landwirten eine Umsetzung für unrealistisch befunden, da keine ausreichende Wirtschaftlichkeit sowie Akzeptanz sichergestellt werden kann. Dies liegt an den Kosten für die Erschließung eines Verbandsnetzes, die weitläufig verteilten Beregnungsflächen und an vielen Nicht-Bewässerungsbetrieben im Bereich der Osterhofener Platte. Zudem ist die rechtliche Situation in Bayern derzeit so gestaltet, dass ein Verband nur für die Beregnung mit Ufer- oder Speicherfiltrat ausgewiesen werden kann. Da als Beregnungswasser vor allem Grundwasser verwendet wird, sind die rechtlichen Voraussetzungen für eine Gründung nicht gegeben. Insgesamt könnten durch die Gründung eines Verbandes höhere Wasserrechte und eine bessere Planungssicherheit für die Landwirte auf der Osterhofener Platte erreicht werden. Allerdings ist die Gründung eines Verbandes aufgrund von mangelnder Akzeptanz bei den Landwirten sowie fehlender Rechtsgrundlage für die Ausweisung eines Verbandsgebietes auf Basis von Grundwasser nicht umsetzbar.

In der Nutzung von Uferfiltrat wird von Seiten der Wasserwirtschaft großes Potential bei der Wasserentnahme gesehen. So kann bei Uferfiltrat eine Wasserentnahme von 30 bis 40 l/s aus der Isar oder Donau genehmigt werden. Auch von Seiten der Landwirte ist das Interesse an der Nutzung von Uferfiltrat groß. In 2016 erhielten zwei Projekte die Genehmigung durch das Wasserwirtschaftsamt, die zeigen, dass die Nutzung von Uferfiltrat in der Praxis realisiert werden kann. Allerdings stellt die Wasserversorgung durch Uferfiltrat nur für Betriebe eine Option dar, die ihre Flächen in Flussnähe haben. Für Betriebe, deren Flächen zentral auf der Osterhofener Platte liegen, ist ein solches Vorhaben schwierig zu realisieren. Zudem können beim Leitungsbau möglicherweise Grundstückfragen bei der Querung von fremden Flächen ein Problem darstellen. Insgesamt ist die Nutzung von Uferfiltrat für die Landwirte in Flussnähe überaus positiv zu bewerten, da sie sich Wasserrechte in ausreichender Höhe sichern können.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Ausweisung eines Verbandes auf der Osterhofener Platte eine interessante Option zur Sicherung höherer Wasserrechte darstellen kann. Allerdings ist eine Umsetzung auf der Osterhofener Platte nicht realisierbar, da dieses Vorhaben an mangelnder Akzeptanz sowie fehlender Rechtsgrundlage scheitern könnte. Die Wasserentnahme von Uferfiltrat wird künftig vor allem für die Landwirte in Flussnähe eine Option sein, sich Wasserrechte in ausreichender Höhe zu sichern.

6.4.2 Bewässerungssteuerung

Die befragten Landwirte auf der Osterhofener Platte verfügen über ein sehr großes Wissen über die Bewässerungssteuerung und berücksichtigen viele verschiedene Kriterien bei der Bewässerungsentscheidung. Im weiteren Verlauf werden weitere Optionen aufgezeigt, wie

das Bewässerungsmanagement möglicherweise noch wassersparender und effizienter gestaltet werden kann.

Die schlagspezifische Niederschlagserfassung stellt eine Möglichkeit dar, weitere Informationen für die Bewässerungsentscheidung zu generieren. So reicht es bei einem Messbecher mit Verdunstungsschutz aus, diesen einmal wöchentlich zu kontrollieren. Insbesondere vor dem Hintergrund von lokal auftretenden Starkniederschlagsereignissen können somit wichtige Informationen für die Bewässerungssteuerung gewonnen werden.

Manche Landwirte sehen Potential zur Steigerung der Effizienz der Bewässerung, indem sie die Erntehelfer noch besser bei der Steuerung der Wassergaben schulen. Hierbei kann durch eine Sensibilisierung der Mitarbeiter für eine wassersparende und gezielte Beregnung möglicherweise der Wasserverbrauch reduziert werden.

Das Boden-Wasser-Modell kann dazu beitragen, dass die Bewässerung der Landwirte „objektiver“ und „messbarer“ wird. Insbesondere die Eignung des Modells, die Einstellungen an die Bodenbonität sowie die Kultur anzupassen, ermöglicht eine „universelle“ Anwendbarkeit. Auf Basis von verschiedenen Intensitätsstufen kann die Bewässerung mit unterschiedlichem Wasserverbrauch gesteuert werden. So könnte ein Schlag probeweise mit niedriger oder mittlerer Intensität bewässert werden. Somit könnten sich die Landwirte möglicherweise an eine wasserreduzierte Bewässerung herantasten und die Umsetzbarkeit in der Praxis mit einem überschaubaren Risiko überprüfen.

Insgesamt wird nur wenig Optimierungspotential zur Verbesserung der Bewässerungssteuerung gesehen, da diese auf Basis von vielen unterschiedlichen Kriterien erfolgt. Eine mögliche Verbesserung kann gewährleistet werden, wenn verdunstungssichere Regenmesser am Feldrand eingesetzt, eine bessere Schulung der Mitarbeiter sowie eine probeweise Steuerung der Bewässerung mit reduzierter Intensität praktiziert werden.

6.4.3 Gesellschaftliche Akzeptanz

Die Beregnung kann in der Öffentlichkeit durchaus kritisch betrachtet werden. Nachfolgend werden verschiedene Möglichkeiten diskutiert, wie das gesellschaftliche Ansehen der Beregnung nachhaltig optimiert werden kann.

Die Verdunstungsverluste von Überkopfberegnung bei Hitze können im Mittelpunkt des gesellschaftlichen Interesses stehen. Durch einen Verzicht auf Beregnung während der Mittagshitze können Verdunstungsverluste minimiert werden, wodurch einer der größten Kritikpunkte gegenüber der Bewässerung entkräftet werden kann.

Ein Teil der Gesellschaft verfügt mittlerweile über keinen ausgeprägten Bezug zur Landwirtschaft. Daher ist es für die Agrarbranche sehr wichtig, aktiv an der Gestaltung des öffentlichen Meinungsbildes mitzuwirken. Dies könnte beispielsweise im Rahmen eines „Tages des offenen Hofes“ geschehen. Somit hätte die Öffentlichkeit die Gelegenheit, sich über den Stellenwert der Landwirtschaft in der Wertschöpfungskette für die Lebensmittelproduktion zu informieren. Diesbezüglich können den Besuchern auch fachliche Informationen unterbreitet werden, sodass mehr Verständnis für die einzelnen Produktionsschritte in der Landwirtschaft aufgebracht werden würde. Die fachliche Notwendigkeit der Bewässerung sollte auch über verschiedene Medien kommuniziert werden. Denn das Bewusstsein für die Notwendigkeit der Bewässerung würde geschärft und mehr Verständnis von Seiten der Öffentlichkeit für die Bewässerung entgeggebracht werden.

Auf der Osterhofener Platte führten das Absinken des Grundwasserstandes und das Trockenfallen von Brunnen zu Akzeptanzproblemen der Beregnung. Ebenso kann die Beregnung kritisch betrachtet werden, da ein ausreichender Grundwasserkörper für künftige Generationen zur Verfügung stehen sollte. Einen Beitrag zur Entspannung der Grundwassersituation kann die Nutzung von Uferfiltrat als Beregnungswasser leisten, so dass der Grundwasserkörper geschont werden und die Beregnung bei niedrigen Grundwasserständen weniger im öffentlichen Fokus stehen würden.

Alte Dieselaggregate können mitunter laut sein und eine hohe Abgasbelastung verursachen. Diese sollten in der Nähe von Wohngebieten durch Elektropumpen oder schallschutzgedämpfte Bewässerungsaggregate ersetzt werden, damit die Lärm- und Abgasbelastung verringert werden kann. Dies kann eine weitere Möglichkeit sein, dass die Bewässerung in der Öffentlichkeit weniger kritisch gesehen wird.

Insgesamt kann die Akzeptanz der Bewässerung auf zweierlei Wege optimiert werden. Zum einen kann aktiv für die fachliche Notwendigkeit der Bewässerung auf Veranstaltungen sowie über Medien informiert werden. Zum anderen können die Bewässerungsbetriebe den Kritikern unauffällig die Argumente entkräften, indem sie auf die Überkopfberegnung bei Hitze verzichten, Grundwasser durch Uferfiltrat substituieren und alte Dieselaggregate in Siedlungsnähe austauschen.

6.5 Ausblick

Im Rahmen des Ausblicks werden mögliche Einflüsse auf die Beregnungsfläche analysiert und künftige Herausforderungen an die Bewässerungswirtschaft definiert.

6.5.1 Künftige Entwicklung der Berechnungsfläche

Die Entwicklung der Berechnungsfläche wird von verschiedenen Aspekten beeinflusst, die nachfolgend diskutiert werden.

Aktuelle Klimaprognosen gehen davon aus, dass die Niederschläge während der Wachstumsperiode zurückgehen (ANTER et al., 2009). Insbesondere Extremwetterlagen, die zu langen Trocken- und Hitzeperioden führen, können massive Ertragsausfälle mit sich bringen. Damit die Landwirtschaft künftig Erträge und Qualitäten auf hohem Niveau produzieren kann, ist eine Ausdehnung der Berechnung von landwirtschaftlichen Kulturen als Anpassungsreaktion an den Klimawandel zu erwarten. Somit können sich die Landwirte gegenüber erheblichen Ertragseinbußen aufgrund von Trockenstress „versichern“. Gleichzeitig kann die Qualität von beispielsweise Kartoffeln oder Zwiebeln gewährleistet werden.

Einzelne Unternehmen der kartoffelverarbeitenden Industrie setzen bereits für den Abschluss von Lieferkontrakten voraus, dass die Kartoffeln bewässert werden können. Somit sichert sich die verarbeitende Industrie ausreichende Mengen sowie qualitativ hochwertige Ware und verfügt dadurch über Planungssicherheit für die Verarbeitung. Auch die Landwirte bringen sich durch die Möglichkeit der Bewässerung in eine bessere Verhandlungsposition und können bei der Vermarktung einen für sie optimalen Preis erzielen. Durch die beständig steigenden Qualitätsansprüche der Industrie in Kombination mit einem entsprechenden Vergütungssystem ist zu erwarten, dass künftig die Bewässerungsfläche bei Kartoffeln weiter ausgedehnt wird.

Regionale Produkte genießen bei Verbrauchern eine hohe Wertschätzung. Da in Deutschland der Selbstversorgungsgrad bei Gemüse lediglich bei knapp 40 % liegt, ist eine weiter steigende Nachfrage nach regionalen Produkten zu erwarten (BMEL, 2014). Da die Bewässerung für die Erzeugung von Gemüse einen essentiellen Produktionsfaktor darstellt, wird durch eine mögliche Flächensteigerung beim Gemüsebau auch die Bewässerungsfläche ausgedehnt werden.

Künftig ist eine Ausdehnung der Bewässerungsfläche zu erwarten. Den wesentlichen Treiber für diese Entwicklung stellt der Klimawandel dar, damit die Landwirte Erträge und Qualitäten absichern können. Weitere Gründe für eine Ausdehnung der Bewässerungsfläche können die besseren Vermarktungsmöglichkeiten von bewässerten Kartoffeln sowie eine steigende Nachfrage nach regionalem Gemüse sein.

6.5.2 Künftige Herausforderungen an das Bewässerungsmanagement

Künftig steht der Agrarsektor vor integralen Herausforderungen. Einerseits muss er die gesellschaftsethischen Interessen wahrnehmen und berücksichtigen, gleichzeitig darf andererseits die Wettbewerbsfähigkeit der Betriebe nicht eingeschränkt werden.

Auch die Bewässerungswirtschaft steht vor diesem Dilemma, da Interessenskonflikte um die Nutzung von Wasser bestehen oder künftig neu entstehen können. Daher sollte eine Übernutzung der Wasservorräte verhindert werden, damit Wasser in ausreichender Menge und Qualität auch für künftige Generationen zur Verfügung steht. Diesbezüglich können verschiedene Regulierungen getroffen werden, die die Wettbewerbsfähigkeit der Betriebe in hohem Maße einschränken können. Negative Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit der Betriebe können beispielsweise eingeschränkte Wasserrechte, zeitliche Verbote der Beregnung sowie höhere Wasserkosten haben. Diesbezüglich ist es unabdingbar, dass künftig Behörden sowie Bewässerungsbetriebe einen Konsens erarbeiten, damit sowohl ein guter Zustand der Wasserkörper erreicht wird, als auch für die Betriebe wirtschaftlich tragfähige Lösungen eruiert werden. In diesem Zusammenhang stellt für die Betriebe vor allem die Sicherung von ausreichenden Wasserrechten die zentrale Herausforderung dar. Insbesondere für sehr beregnungsintensive Kulturen wie beispielsweise Einlegegurken kann die Höhe der Wasserrechte problematisch sein. Daher sollte von den Landwirten genau geprüft werden, ob der Anbau möglicherweise eingeschränkt werden sollte oder das Risiko des Anbaus bei nicht ausreichenden Wasserrechten als zu hoch eingestuft werden muss.

Eine weitere zentrale Herausforderung für die Bewässerungsbetriebe stellt die Erzeugung von qualitativ hervorragenden Produkten dar. Allerdings kann beispielsweise Salat bereits bei kleinen Läsionen nicht mehr vermarktungsfähig sein. Bei Kartoffeln können geringfügige Qualitätsmängel zu erheblichen Preisabzügen führen. Vor dem Hintergrund von beständig steigenden Qualitätsansprüchen, insbesondere von Seiten des LEH, stehen die Betriebe vor der Aufgabe, allerhöchste Qualitäten zu erzeugen. Diesbezüglich stellt auch die Bewässerung einen entscheidenden Produktionsfaktor dar, damit die Erzeugung von bester Qualität möglich ist.

Die Steigerung der Wassernutzungseffizienz sowie eine wassersparende Beregnung stellen weitere zentrale Herausforderungen für die Bewässerungswirtschaft dar. Hierbei können Optimierungen möglicherweise durch pflanzenbauliche Maßnahmen wie beispielsweise Bodenbearbeitung, Bodenbedeckung oder Sortenwahl erreicht werden. Auch die Bewässerungstechnik kann ein Baustein zur Steigerung der Wassereffizienz sein, dadurch, dass die Verteilung noch verbessert und die Verdunstung bei Tagberegnung verringert werden kann. Ein weiteres Feld zur Wassereinsparung wird bei der Bewässerungssteuerung gesehen.

So kann eine Steuerung mit reduzierter Intensität ausreichend sein, um ebenfalls sehr gute Erträge und Qualitäten zu erzielen. In diesem Bereich wird noch Forschungsbedarf gesehen, dass weitere Bewässerungsversuche mit reduzierter Intensität durchgeführt werden. Somit stehen zusätzliche empirische Ergebnisse zur Verfügung, so dass die Beratung zu einer reduzierten Bewässerungssteuerung auf dem Feld Auskunft geben kann.

Künftig wird die Bewässerungswirtschaft vor einigen zentralen Herausforderungen stehen. Hierbei ist dem nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser höchste Priorität einzuräumen. Die Wassernutzungseffizienz wird in Zukunft durch verschiedene pflanzenbauliche Maßnahmen, optimierte Bewässerungstechnik sowie einer Bewässerungssteuerung mit reduzierter Intensität gesteigert werden müssen. Diesbezüglich ist darauf zu achten, dass die Wettbewerbsfähigkeit der Betriebe durch beispielsweise eingeschränkte Wasserrechte nicht gefährdet wird. Weiter steigende Qualitätsansprüche von Seiten des LEH werden zudem eine weitere Herausforderung für die Bewässerungsbetriebe darstellen.

7 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird das Bewässerungsmanagement der Landwirte auf der Osterhofener Platte aus regionaler sowie gesellschaftlicher Sicht analysiert. Im Rahmen von Experteninterviews wurden Vertreter aus Landwirtschaft, Behörden, Beratung, Forschung und Wasserverbänden befragt, um die IST-Situation auf der Osterhofener Platte einzuordnen und daraus Strategien für die Optimierung des Bewässerungsmanagements ableiten zu können.

Im Rahmen der Experteninterviews wurde deutlich, dass für die Gurken- und Frischgemüseerzeugung die Bewässerung existenziell ist, da ohne Bewässerung keine Wirtschaftlichkeit bei diesen Kulturen sichergestellt werden kann. Für die Kartoffel- und Zwiebelbetriebe stellt die Bewässerung einen sehr wichtigen Produktionsfaktor dar, damit Erträge sowie Qualitäten abgesichert werden können. Marktfrüchte werden auf der Osterhofener Platte nicht beregnet, da keine ausreichende Wirtschaftlichkeit bei diesen Kulturen gegeben ist.

Den höchsten Zusatzwasserbedarf weisen Einlegegurken auf der Osterhofener Platte auf. Dieser kann in einem heißen und trockenen Sommer auf etwa 240 bis 260 l/m² eingeordnet werden. Zwiebeln haben einen Zusatzwasserbedarf von 135 bis 150 l/m², von Kartoffeln 90 bis 120 l/m² und von Salat 65 bis 90 l/m² je Satz, wobei bis zu drei Sätze jährlich gepflanzt werden können. Pflanzenbauliche Maßnahmen zur Verringerung des Beregnungsbedarfs sind nur in begrenztem Umfang umsetzbar, da verstärkt phytosanitäre Probleme sowie ein erhöhter Unkraut- und Schädlingsdruck auftreten. Für den Anbau von Kartoffeln und Zwiebeln können die Wasserrechte zur Entnahme aus dem Grundwasser ausreichend sein, während diese bei Einlegegurken in zu geringem Umfang zur Verfügung stehen und die Landwirte auf eine Erhöhung angewiesen sind. Den Landwirten in Hessen sowie im Knoblauchsland stehen Wasserrechte in ausreichender Höhe zur Verfügung.

Die Bewässerungstechnik ist an die Anforderungen der jeweiligen Kultur sowie des Standortes unter Berücksichtigung von wirtschaftlichen Aspekten angepasst. So werden Kartoffeln und Zwiebeln mit Schlauchtrommelanlagen bewässert und Einlegegurken mit Tropfbewässerung. Die Bewässerungssteuerung der Landwirte auf der Osterhofener Platte kann als sehr gut charakterisiert werden, da diese auf Basis von besonders vielen verschiedenen Kriterien entscheiden. Die wesentlichen Steuerungsmerkmale stellen persönliche Erfahrungen, Spatenprobe, Wetterprognose, Erzeugerringberatung und Beobachtung des Bestandes dar. Darüber hinaus nutzen einige Landwirte Tensiometer und das Boden-Wasser-Modell, wobei die Expertenmeinungen zu diesen „objektiven“ Steuerungskriterien in hohem Maße unterschiedlich sind.

Die gesellschaftliche Akzeptanz der Bewässerung wird auf der Osterhofener Platte sehr unterschiedlich beurteilt. Einige Betriebsleiter schätzen das gesellschaftliche Ansehen der Bewässerung auf ihrem Betrieb als positiv ein, während andere Landwirte die öffentliche Diskussion um die Beregnung auf der Osterhofener Platte deutlich spürten. In den Vergleichsregionen Hessen sowie dem Knoblauchsland wird das gesellschaftliche Ansehen der Bewässerung als überaus positiv eingeordnet. Die Akzeptanz der Bewässerung kann auf zweierlei Wege verbessert werden. Zum einen kann aktiv für die Notwendigkeit der Bewässerung auf fachlichen Veranstaltungen sowie über die Medien informiert werden. Zum anderen können die Bewässerungsbetriebe den Kritikern die Argumente entkräften, indem sie auf die Überkopfberegnung bei Hitze verzichten, Grundwasser durch Uferfiltrat substituieren und alte Diesellagereate durch leise Elektrogeräte ersetzen.

Die Ausweisung eines Verbandsgebietes stellt grundsätzlich eine interessante Option dar, damit sich alle Landwirte gemeinsam höhere Wasserrechte sichern können. Allerdings ist eine Umsetzung auf der Osterhofener Platte schwierig, da das Vorhaben an mangelnder Akzeptanz und fehlender Wirtschaftlichkeit sowie Rechtsgrundlage für die Grundwasserentnahme scheitern könnte. Die Wasserentnahme von Uferfiltrat zur Beregnung stellt vor allem für die Landwirte in Flussnähe eine Möglichkeit dar, sich Wasserrechte in ausreichender Höhe zu sichern.

Bei der Bewässerungssteuerung wird insgesamt nur wenig Potential zur Optimierung gesehen, da diese bereits auf Basis von vielen unterschiedlichen Kriterien erfolgt. Mögliche Verbesserungen werden bei einer schlagspezifischen Niederschlagserfassung am Feldrand, einer besseren Schulung der Mitarbeiter sowie einer probeweisen Steuerung der Bewässerung über das Boden-Wasser-Modell mit reduzierter Intensität gesehen.

Künftig ist eine Ausdehnung der Beregnungsfläche zu erwarten. Den wesentlichen Treiber für diese Entwicklung stellt der Klimawandel dar, damit die Landwirte Erträge und Qualitäten absichern können. Weitere Gründe für eine Ausdehnung der Bewässerungsfläche können die besseren Vermarktungsmöglichkeiten von bewässerten Kartoffeln sowie eine steigende Nachfrage nach regionalem Gemüse sein. In Zukunft wird die Bewässerungswirtschaft vor einigen zentralen Herausforderungen stehen. Hierbei ist dem nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser höchste Priorität einzuräumen. Die Wassernutzungseffizienz wird künftig durch verschiedene pflanzenbauliche Maßnahmen, optimierte Bewässerungstechnik sowie eine Bewässerungssteuerung mit reduzierter Intensität gesteigert werden müssen. Diesbezüglich ist darauf zu achten, dass die Wettbewerbsfähigkeit der Betriebe durch beispielsweise eingeschränkte Wasserrechte nicht gefährdet wird. Weiter steigende Qualitätsansprüche von Seiten des LEH werden eine weitere Herausforderung für die Bewässerungsbetriebe darstellen.

8 Summary

The master thesis analyses the irrigation management of farmers at the Osterhofener Platte including regional and social aspects. The data was obtained from interviews with experts of different irrigation stakeholders as farmers, authorities, consultants, scientists and water boards. Therefore, the actual situation can be analyzed and new strategies can be elaborated in order to optimize the irrigation management.

The results of the expert interviews showed that irrigation is of extreme importance for the cucumber and fresh vegetable farms. Irrigation is also highly important for the potato and onion farms to ensure yield and quality. On the other hand, food crops such as winter wheat, corn or sugar beets are not irrigated at Osterhofener Platte because there is no economic efficiency.

Cucumbers present the highest demand for water in irrigation, which ranges from 240 to 260 l/m² at Osterhofener Platte in a hot and dry summer. Onions have an additional water use ranging from 135 to 150 l/m² and potatoes from 90 to 120 l/m². The use of crop management strategies such as cover crops could efficiently reduce the amount of water used for irrigation. However, strategies such as reduced tillage did not demonstrate to be efficient due to the increase of pest incidence or weeds. At Osterhofener Platte, the water rights are sufficient for the most farmers to irrigate potatoes and onions with full amount. The water rights are too low for cucumber farming and they are dependent on increasing the water rights. By contrast, the water rights are sufficient for the farmers in Hessen and in Knoblauchsland.

The irrigation technology is adjusted to the requirements of the crop and the location including economic interests. Potatoes and onions are irrigated by overhead irrigation and cucumbers by drip irrigation. The watering management has a high standard at the Osterhofener Platte because the farmers take into account many factors. Those include personal experience, groundbreaking, weather forecast, consulting of the Erzeugerring and observation of the crop. Furthermore, some farmers also use tensiometer and the so called "Boden-Wasser-Modell Weihenstephan".

The social acceptance of irrigation is evaluated as highly different at Osterhofener Platte. Some farmers are highly criticized by society by the use of irrigation while others are not. The social acceptance of irrigation is much better in Hessen and in Knoblauchsland. The standing in the community can be improved by informing the people about the professional necessity of irrigation. Furthermore, the farmers can dispense with overhead irrigation to reduce the evaporation of water during the midday heat. Also the farmers can replace ground water by river bank filtrate and old diesel engines by quiet electric engines.

Further improvements in the irrigation system are difficult to implement since the system has already a high standard. Some opportunities to optimize the management are to measure the rainfall next to the field, to train the employees better and to try to reduce the additional water for irrigation by managing the crop with reduced intensity of Boden-Wasser-Modell Weihenstephan.

In the future the irrigation area is going to increase. The most important factor for this development is the climate change because the farmers are going to ensure yield and quality. Irrigation system is particularly important for potato crop, since the irrigated fields present a much higher standard quality. Making sure that the water use is sustainable consists in the biggest challenge for irrigation. Better water management and the use of crop management strategies are necessary in order to improve the efficiency of the irrigation system. Another key challenge is that the competitiveness is not risked by insufficient water rights. Maintaining the quality of the irrigated crops after all the changes also stands out as one of the main challenges for implementing modifications in the irrigation system.

9 Literaturverzeichnis

- Abhirup, P.; Subhadeep, C. (2014):** Real Time Microcontroller Based Remote Water Monitoring System in Agriculture. In: *Scholars Journal of Engineering and Technology (SJET)* 2(2B): 236-242. ISSN: 2321-435X. Available at: <http://saspublisher.com/wp-content/uploads/2014/03/SJET22B236-242.pdf>. Accessed 23 April 2017.
- AELF Landshut; AELF Deggendorf; Erzeugerring für Obst und Gemüse Straubing e.V. (2015):** Gemüsebau Niederbayern 2016. Versuchsergebnisse 2015 Anbauempfehlungen Pflanzenschutzhinweise. Available at: http://www.beraterring-sr.de/Allgemein%20Oeffentlich/2016_Gelbes%20Heft.pdf. Accessed 23 April 2017.
- Agrarmeteorologie Bayern (2017):** Langjährige Jahresmittelwerte. Wetterstation Neusling (LfL). Available at: http://www.am.rlp.de/Internet/AM/inetcntrBY.nsf/cuhome.xsp?src=GSSGT0B084&p1=title%3D14~url%3D%2FInternet%2FAM%2FNotesBAM.nsf%2FXP_ABC_All%2FB1ECF1675C7ED9D2C125739200479107%3FOpenDocument&p3=186397Z4DJ. Accessed 23 April 2017.
- ALB Bayern (2016):** Hilfemenü zur Bewässerungs-App. Available at: http://www.alb-bayern.de/De/Themen/Aussenwirtschaft/BodenwasserModell/beregnung-bewaesserung-rechenmodell_InformationenBewaesserung.html. Accessed 23 April 2017.
- ALB Bayern (2017):** Bewässerungs-App. Available at: http://www.alb-bayern.de/De/Themen/Aussenwirtschaft/BodenwasserModell/beregnung-bewaesserung-bodenwasser_BewaesserungsApp.html. Accessed 23 April 2017.
- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, Dirk; Smith, Martin (1998):** Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Rome (FAO irrigation and drainage paper, 56). Available at: <http://www.kimberly.uidaho.edu/water/fao56/fao56.pdf>. Accessed 23 April 2017.
- Anter, J.; Gömann, H.; Kreins, P.; Richmann, A. (2009):** Einfluss sich wandelnder ökonomischer Rahmenbedingungen auf die Beregnung landwirtschaftlicher Kulturen in Deutschland. In: *Landbauforschung* 328: 21–28. Available at: http://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dk041699.pdf. Accessed 23 April 2017.
- Ast, M.; Birkholz, T.; Bludau, T.; Brase, U.; Burg, D.; Ebeler, A. et al. (2014):** Zukunftsfähige Sicherung der Feldberegnung. Gesamtkonzept. Hannover. Available at: http://www.umwelt.niedersachsen.de/download/84483/Zukunftsfaeheige_Sicherung_der_Feldberegnung_-_Gesamtkonzept_Stand_20.12.2013_.pdf. Accessed 23 April 2017.
- Bayerische Staatsregierung (1999):** Verordnung zur Ausführung des Bayerischen Gesetzes zur Ausführung der Wasserverbandsgesetze (AVBayAGWVG). München.
- Beck, M. (2000):** Strategien zur Steuerung der Bewässerung im Gewächshaus und Konsequenzen für die Strukturierung von Leitrechnersystemen. Published PhD. Humboldt Universität zu Berlin. Department of agricultural and horticultural sciences. Available at: <http://edoc.hu-berlin.de/dissertationen/beck-michael-2000-07-04/PDF/Beck.pdf>. Accessed 23 April 2017.
- Belau, T.; Fröba, N.; Achilles, W. (2013):** Freilandbewässerung. Betriebs- und arbeitswirtschaftliche Kalkulationen. 1st ed. Darmstadt: KTBL. ISBN 978-3-941583-86-3.
- Bimazubute, R. (2005):** Die Nachbereitung von Experteninterviews im expertenzentrierten Wissensmanagement. Published PhD. Universität Erlangen. Technische Fakultät.
- BMEL (2014):** Der Gartenbau in Deutschland. Daten und Fakten. Available at: http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/Der-Gartenbau-in-Deutschland.pdf?__blob=publicationFile. Accessed 23 April 2017.
- Bogner, A.; Littig, B.; Menz, W. (2005):** Das Experteninterview. Theorie, Methode, Anwendung. 2nd ed. Wiesbaden: VS Verlag. ISBN 3-531-14447-2.

- Bogner, A.; Littig, B.; Menz, W. (2014):** Interviews mit Experten. Eine praxisorientierte Einführung. Wiesbaden: VS Verlag. ISBN 978-3-531-19416-5.
- Camkin, J. K.; Story, J.; Bristow, K. L. (2007):** An Ecologically Sustainable Development Component System to Support Irrigation Decision-Making in Northern Australia. ISSN: 1834-6618. Available at: http://www.academia.edu/1627008/An_Ecologically_Sustainable_Development_Component_System_to_Support_Irrigation_Decision-Making_in_Northern_Australia. Accessed 23 April 2017.
- de Fraiture, C.; Molden, D.; Wichelns, D. (2010):** Investing in water for food, ecosystems, and livelihoods: An overview of the comprehensive assessment of water management in agriculture. In: *Agricultural Water Management* 97(4): 495-501. Available at: <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.08.015>. Accessed 23 April 2017.
- de Fraiture, C.; Wichelns, D. (2010):** Satisfying future water demands for agriculture. In: *Agricultural Water Management* 97(4): 502-511. Available at: <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.08.008>. Accessed 23 April 2017.
- Deutscher Wetterdienst (2016):** Klimatische Wasserbilanz (Jahreszeiten). Available at: www.dwd.de/DE/leistungen/wasserbilanzq/wasserbilanzq.html. Accessed 23 April 2017.
- Dirksmeyer, W. (2009):** Ökonomik der Bewässerung im Gartenbau. In: *Landbauforschung* 328: 73-79. Available at: literatur.thuenen.de/digbib_extern/dk041694.pdf. Accessed 23 April 2017.
- Drastig, K.; Prochnow, A.; Brunsch, R. (2010):** Wassermanagement in der Landwirtschaft. Diskussionspapier 3. Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften. Berlin. Available at: https://edoc.bbaw.de/files/926/diskussionspapier_drastig_etal_022010_digital_1.pdf. Accessed 23 April 2017.
- Europäisches Parlament und europäischer Rat (2009):** Richtlinie 2000/60/EG vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. In: *Amtblatt der EG*.
- FAO (2014):** Irrigated crops. AQUASTAT. Available at: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/infographics/Irrigated_eng.pdf. Accessed 23 April 2017.
- FAO (2015):** Towards a water and food secure future. Critical perspectives for Policy-makers. World Water Council. Marseille. Available at: <http://www.fao.org/3/a-i4591e.pdf>. Accessed 23 April 2017.
- Fricke, E. (2015):** Heutige Feldbewässerung in der Praxis und Möglichkeiten der Effizienzsteigerung. Fachgespräch: "Be- und Entwässerung in der Landwirtschaft: Probleme und Lösungsansätze". Berlin. Available at: http://www.knu.info/fileadmin/umweltschutz-normung/151221_bund_umweltschutz_normung_fricke_praxis_feldbewaesserung.pdf. Accessed 23 April 2017.
- Fricke, E.; Heinecke, A.; Mersch, I.; von Haarem, M. (2011):** Wasser wächst auf Feldern. Landwirtschaftskammer Niedersachsen. Hannover. Available at: [http://www.klimafolgenmanagement.de/UserFiles/Abschlussbericht_FE3\(1\).pdf](http://www.klimafolgenmanagement.de/UserFiles/Abschlussbericht_FE3(1).pdf). Accessed 23 April 2017.
- Fricke, E.; Meyer, A. (2017):** Bewässerungstechnik optimieren. Möglichkeiten der Effizienzsteigerung in Beregnungssystemen. In: *Kartoffelbau* 68(3): 31-33.
- Fricke, E.; Riedel, A. (2013):** Wasserkonkurrenz - Probleme und Beispiele innovativer Problemlösungen. Landwirtschaftskammer Niedersachsen. Loccum. Available at: http://www.agriglobal.net/rueckblick-2013.html?file=tl_files/downloads/2013/vortraege_loccum/Ekkehard_Fricke_Expertenworkshop%20Loccum%2C%2018.-19.09.2013_2.pdf. Accessed 23 April 2017.

- Gläser, J.; Laudel, G. (2010):** Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen. 4th ed. Wiesbaden: VS Verlag. ISBN 978-3-531-17238-5.
- Gramm, M. (2014):** Bewässerung in Sachsen. Untersuchungen zu pflanzenbaulichen Anpassungsstrategien an den klimabedingten Trockenstress und deren Wirtschaftlichkeit unter Nutzung wassersparender Verfahren der Bewässerung und Beregnung. LfULG. Available at: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/22174/documents/30164>. Accessed 23 April 2017.
- Hackl, H.; Mühlmann, C.; Beck, M. (2015):** Forschungsprojekt „Optimierung des Bewässerungsmanagements im Knoblauchsland durch Funksysteme“. LWG; HSWT; AELF Fürth. Veitshöchheim. Available at: http://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/gartenbau/dateien/2015-g-1_funkbew%C3%A4sserung.pdf. Accessed 23 April 2017.
- Hochschule Geisenheim (2014):** Geisenheimer Bewässerungssteuerung 2014. FAO 56 Gasverdunstung. Available at: http://www.hs-geisenheim.de/fileadmin/user_upload/Gemuesebau/Geisenheimer_Steuerung/kc-Werte_FAO56_2014.pdf. Accessed 23 April 2017.
- Hornbuckle, J. W.; Car, N. J.; Christen, E. W.; Stein, T. M.; Williamson, B. (2009):** IrriSatSMS - Irrigation water management by satellite and SMS - A utilisation framework. CRC for Irrigation Futures Technical Report No. 01/09. CSIRO Land and Water Science Report No. 04/09. ISSN 1834-6618. Available at: http://www.enorasis.eu/uploads/files/Business%20modelling/2.Hornbuckle_2009.pdf. Accessed 23 April 2017.
- Inman-Bamber, N. G.; Attard, S. J.; Verrall S. A.; Webb, W. A.; Baillie, C. (2007):** A web-based system for scheduling irrigation in sugarcane. In: *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.* 26: 459-463. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/277737400>. Accessed 23 April 2017.
- Jensen, M. E. (1969):** Scheduling Irrigations with Computers. In: *Journal of Soil and Water Conservation* 24(5): 193–195.
- Kaiser, R. (2014):** Qualitative Experteninterviews. Konzeptionelle Grundlagen und praktische Durchführung. Wiesbaden: Springer VS. ISBN 978-3-658-02478-9.
- Kleber, J. (2014):** Bewässerungssteuerung. KTBL. Darmstadt. Available at: https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/artikel/Gartenbau/Bewaesserungssteuerung/Bewaesserungssteuerung.pdf. Accessed 23 April 2017.
- Koch, J. (1996):** Marktforschung. Begriffe und Methoden. München, Wien: R. Oldenbourg Verlag. ISBN 3-486-23450-1.
- Koch, J. (2012):** Marktforschung. Grundlagen und praktische Anwendungen. 6th ed. München: Oldenbourg. ISBN 978-3-486-71597-2.
- Kreß, O. (2014):** Abschlussbericht Projekt „Optimierung der Bewässerung für den Freilandgemüseanbau“. LWG; HSWT; AELF Landshut. Available at: http://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/gartenbau/dateien/2015-g-2-bew%C3%A4sserung_abschlussbericht_lang.pdf. Accessed 23 April 2017.
- KTBL (2014):** Technik der Freilandbewässerung. Available at: https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/artikel/Gartenbau/Freilandbewaesserung/Technik_Freilandbewaesserung.pdf. Accessed 24 April 2017.
- Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (2015):** Humus und Bodenfruchtbarkeit. Bedeutung des Humusgehaltes für die Bodenfruchtbarkeit. Available at: <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/boden/humus-pdf.pdf>. Accessed 24 April 2017.

- Levidow, L.; Zaccaria, D.; Maia, R.; Sacardigno, A. (2014):** Improving water-efficient irrigation: Prospects and difficulties of innovative practices. In: *Agricultural Water Management* 146: 84-94. DOI: 10.1016/j.agwat.2014.07.012.
- LfL (2008):** Bewässerung im Ackerbau und in gärtnerischen Freilandkulturen. LfL Information. Available at: https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/p_33201.pdf Accessed 24 April 2017.
- LfL (2016):** Tropfbewässerung im Kartoffelbau. Ergebnisse aus dem Agro-Klima-Forschungsprojekt Tropfbewässerung im Kartoffelbau. ISSN 1611-4159. Available at: http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/tropfbewaesserung-kartoffelbau_lfl-schriftenreihe.pdf. Accessed 24 April 2017.
- LfULG (2015):** Bewässerungs- und Sorteneffekte bei Feldgemüse. Untersuchungen zur Bewässerungssteuerung und zur Wechselwirkung zwischen Bewässerung und Sorte bei verschiedenen Feldgemüsearten vor dem Hintergrund des zu erwartenden Klimawandels in Sachsen. Available at: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/25425/documents/35176>. Accessed 24 April 2017.
- Mannini, P.; Genovesi, R.; Letterio, T. (2013):** IRRINET. Large Scale DSS Application for On-farm Irrigation Scheduling. In: *Procedia Environmental Sciences* 19: 823–829. DOI: 10.1016/j.proenv.2013.06.091.
- Maussner, H. (2016a):** Summer aller Kulturen im Gebiet der Osterhofener Platte. Persönliche Mitteilung. AELF Deggendorf. Deggendorf.
- Maussner, H. (2016b):** Wasserbedarf für den Forstharter Rücken. Persönliche Mitteilung. AELF Deggendorf. Deggendorf.
- Meuser, M.; Nagel, U. (1989):** Experteninterviews - vielfach erprobt, wenig bedacht. Ein Beitrag zur qualitativen Methodendiskussion. Universität Bremen, SFB 186 Statuspassagen und Risikolagen im Lebensverlauf. Bremen ((Arbeitspapier / Stb 186 6)). Available at: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0168-ssoar-57737>. Accessed 24 April 2017.
- Molden, D. (2007):** Water for Food Water for Life. A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. London: Earthscan. ISBN 978-1-84407-396-2.
- Molden, D.; Qweis, T.; Steduto, P.; Bindraban, P.; Munir, A. H.; Kijne, J. (2010):** Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution. In: *Agricultural Water Management* 97(4): 528-535. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.023>.
- Mosler, C. (1999):** Vergleichende Untersuchungen von Bewässerungs- und Kulturverfahren unter Feldbedingungen bei Gurken (*Cucumis Sativus* L.). München: Herbert Utz Verlag. ISBN 3-89675-501-3.
- Müller, M. (2016):** Bewässerungs-App. ALB Bayern. Freising. Available at: http://www.alb-bayern.de/De/Themen/Aussenwirtschaft/BodenwasserModell/berechnung-bewaesserung-bodenwasser_BewaesserungsApp.html. Accessed 24 April 2017.
- Müller, M.; Demmel, M.; Brandhuber, R.; Beck, M.; Sandner, G.; Göttl, M.; Maussner, H. (2016):** Bewässern nach Maß. In: *Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt* 206(17): 46–47. Available at: <http://www.alb-bayern.de/media/files/0002/2016.04-bewassern-nach-ma-.pdf>. Accessed 24 April 2017.
- Müller, M.; Demmel, M.; Riedel, A.; Fricke, E. (2015):** Berechnen mit System. In: *Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt* 205(25): 28–29. Available at: <http://www.alb-bayern.de/media/files/0002/2015.06-berechnen-mit-system.pdf>. Accessed 24 April 2017.

- Munzert, M.; Frahm, J. (2006):** Pflanzliche Erzeugung. Grundlagen des Acker- und Pflanzenbaus, der guten fachlichen Praxis, der Verfahrenstechnik - Produktions- und Verfahrenstechnik der Kulturpflanzen - Dauergrünland - Sonderkulturen - nachwachsende Rohstoffe - ökologischer Landbau - Feldversuchswesen - Naturschutz und Landschaftspflege. 12th ed. München: BLV-Buchverlag. ISBN 9783405168605.
- Paschold, H. P.; Kleber, J.; Mayer, N. (2009):** Bewässerungssteuerung bei Gemüse im Freiland. In: *Landbauforschung* 328: 43-48. Available at: http://literatur.ti.bund.de/digbib_extern/dk041700.pdf. Accessed 24 April 2014.
- Paschold, H. P.; Kleber, J.; Mayer, N. (2010):** Geisenheimer Bewässerungssteuerung. Forschungsanstalt Geisenheim. Available at: http://botanik.forschungsanstalt-geisenheim.de/uploads/media/Geisenheimer_Steuerung.pdf. Accessed 24 April 2017.
- Regierungspräsidium Darmstadt (2015):** Satzung des Wasserverbandes Hessisches Ried. Staatsanzeiger für das Land Hessen. Available at: http://www.wasserverband-hessisches-ried.de/download/Satzung_WHR_23.02.2015.pdf. Accessed 24 April 2017.
- Savva, A. P.; Frenken, K. (2002):** Crop Water Requirements and Irrigation Scheduling. FAO Sub-Regional Office for East and Southern Africa. Harare. ISBN 0-7974-2317-6. Available at: <http://www.fao.org/3/a-ai598e.pdf>. Accessed at 24 April 2017.
- Scheffer, F.; Schachtschabel, P.; Blume, H. P.; Schwertmann, U.; Horn, R.; Kögel-Knabner, I.; Stahr, K. (2002):** Lehrbuch der Bodenkunde. Scheffer/ Schachtschabel. 15th ed. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag GmbH. ISBN 3-8274-1324-9.
- Schindler, U.; Lischeid, G. (2009):** Analyse des Bewässerungsbedarfes und Bewässerungskontrolle im Gartenbau. In: *Landbauforschung* 328: 63-68. Available at: http://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dk041696.pdf. Accessed 25 April 2017.
- Schmitz, M. (2016):** Beregnung auf der Osterhofener Platte. Im Gespräch mit Hubert Vandieken. Durchgeführt am 11.11.2016. Moos.
- Schoellkopf, B. (2011):** Kartoffel-Bewässerung: Acht Verfahren im Vergleich. In: *top agrar* 40(5): 84–89. Available at: <http://www.topagrar.com/archiv/Kartoffel-Bewaesserung-Acht-Verfahren-im-Vergleich-533157.html>. Accessed 24 April 2017.
- Seis, W.; Lesjean, B.; Maaßen, S.; Balla, D.; Hochstrat, R.; Düppenbecker, B. (2016):** Rahmenbedingungen für die umweltgerechte Nutzung von behandeltem Abwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung. Umweltbundesamt. Available at: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_34_2016_rahmenbedingungen_fuer_die_umweltgerechte_nutzung_von_behandeltem_abwasser_0.pdf. Accessed at 24 April 2017.
- Sourell, H. (2009):** Bewässerungstechnik: Wasserverteilung mit Blick in die Zukunft. Freilandberegnung. In: *Landbauforschung* 328: 29-32. Available at: http://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dk041701.pdf. Accessed 24 April 2017.
- Sourell, H.; Belau, T.; Fröba, N. (2010):** Investitionen und Verfahrenskosten für die Feldberegnung. In: *Landtechnik* 65(3). 189–193.
- Sourell, H.; Eberhard, J.; Thörmann, H. H. (2012):** Bewässerung und Beregnung. In: *Jahrbuch Agrartechnik 2012*: 131–138. Available at: <http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00043450>. Accessed 24 April 2017.
- Stadt Nürnberg (1999):** Satzung des Wasserverbandes Knoblauchland in den kreisfreien Städten Nürnberg und Fürth. Amtsblatt vom 9. Dezember 1999. Nürnberg.

- Statistisches Bundesamt (2013):** Bewässerung in landwirtschaftlichen Betrieben. Agrarstrukturerhebung (Tabellenband "Bewässerung"). Available at: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/Betriebe/BetriebeBewasserung5411205139004.pdf?__blob=publicationFile. Accessed at 25 April 2017.
- Statistisches Bundesamt (2016a):** Landwirtschaftliche Bodennutzung. Anbau auf dem Ackerland (Fachserie 3 Reihe 3.1.2). Available at: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/Bodennutzung/AnbauAckerlandVorbericht2030312168004.pdf?__blob=publicationFile. Accessed 25 April 2017.
- Statistisches Bundesamt (2016b):** Obst, Gemüse, Gartenbau. Betriebe, Anbauflächen, Erträge und Erntemengen von Gemüse 2015. Available at: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/ObstGemueseGartenbau/Tabellen/BetriebeAnbauErntemengeGemuese.html>. Accessed 25 April 2017.
- Stingl, M. (2016):** Beregnung auf der Osterhofener Platte. Im Gespräch mit Hubert Vandieken. Durchgeführt am 3.11.2017. Deggendorf.
- Treich, M. (2016):** Konzeptbodenkarte für die Osterhofener Platte. Persönliche Mitteilung. LfL. Freising.
- USDA (2017):** Smart irrigation apps. Smartphone technology for managing urban and agricultural irrigation. Available at: <http://smartirrigationapps.org/>. Accessed 24 April 2017.
- Viehweg, F. J. (1997):** Freilandberegnung im Gemüsebau. Maschinen und Geräte für den Anbau im Freiland. KTBL Arbeitsblatt. Lfd. Nr. 0688. Darmstadt.
- Wasserverband Knoblauchsland (2016):** Der Wasserverband Knoblauchsland mit seinen Strukturen und Aufgaben. Informationsblatt. Nürnberg.

Danksagung

Am Ende dieser Masterarbeit möchte ich die Gelegenheit nutzen, um allen zu danken, die zum Gelingen der vorliegenden Arbeit beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. Niedermeier, AELF Deggendorf, für die Initiierung der Arbeit und Herr Maußner, AELF Deggendorf, für die Unterstützung. Herrn Prof. Bernhardt, TU München, möchte ich herzlich meinen Dank für die unkomplizierte Übernahme der Thesis sowie die wissenschaftlichen Anregungen bei der Anfertigung der Arbeit ausdrücken. Außerdem möchte ich Herrn Dr. Müller, ALB Bayern, für die fachlichen Diskussionen danken.

An dieser Stelle möchte ich mich auch bei den Gesprächspartnern herzlich für die sehr interessanten und fundierten Gespräche sowie die freundliche Aufnahme bedanken, die wesentlich zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen haben.

Die Masterarbeit wurde im Rahmen eines Projektvorhabens an der ALB Bayern durchgeführt und durch Mittel des Bayerischen Staatsministeriums für Landwirtschaft und Forsten gefördert.