

Sebastian Brimmers^{1*}, Hildegard Garming²

Kosten für effizientere Bewässerungstechnik in einem typischen Freilandgemüsebaubetrieb am Niederrhein

¹ Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Am Hofgarten 4, 85354 Freising, Deutschland;
sebastian.brimmers@student.hswt.de

² Thünen-Institut für Betriebswirtschaft, Bundesallee 63, 38116 Braunschweig, Deutschland;
hildegard.garming@thuenen.de

* Korrespondenz: sebastian-brimmers@t-online.de



DGG-Proceedings

Short Communications (Peer Reviewed, Open Access)
German Society for Horticultural Science (DGG)
www.dgg-online.org

DGG-Proceedings 2025, Vol. 13

Short Communications – Peer Reviewed, Open Access

Deutsche Gartenbauwissenschaftliche Gesellschaft e. V. (DGG)

German Society for Horticultural Science

www.dgg-online.org

Annual Conference DGG and BHGL

26.02.-01.03.2025, Essen, Germany

Kosten für effizientere Bewässerungstechnik in einem typischen Freilandgemüsebaubetrieb am Niederrhein

Sebastian Brimmers¹, Hildegard Garming²

¹ Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Deutschland

² Thünen-Institut für Betriebswirtschaft, Deutschland

Abstract

Die effiziente Nutzung von Wasser sowie ein nachhaltiges Management der Wasserressourcen auf regionaler Ebene sind zentrale Aspekte der nationalen Wasserstrategie des Bundes. Im Freilandgemüsebau, der einen hohen Zusatzwasserbedarf aufweist, kann eine Effizienzsteigerung durch moderne Bewässerungstechnik und verbessertes Management erreicht werden – jedoch oft mit hohem Investitionsbedarf. Ziel dieser Arbeit ist es, Optionen zur Verbesserung des Wassermanagements und der Wassernutzungseffizienz im Freilandgemüsebau am Beispiel der Region Niederrhein zu identifizieren und deren betriebliche Kosten zu quantifizieren. Dazu wurde ein typischer Betrieb modelliert, basierend auf einer Fokusgruppendifkussion mit Praxis- und Beratungsexperten. Aufbauend auf dem Status quo wurden Bewässerungsszenarien als Reaktion auf potenziell eingeschränkte Wasserverfügbarkeit entwickelt und mithilfe von KTBL-Kennzahlen kalkuliert. Die Ergebnisse zeigen, dass Effizienzsteigerungen möglich sind, jedoch teilweise mit erheblichen Kosten verbunden sind.

1. Einleitung

Der Niederrhein ist eine Region mit einer hohen Konzentration von Gemüseanbauflächen in Nordrhein-Westfalen (Garming 2025) und einer hohen Nutzung von Bewässerung (Thünen-Institut 2020; Destatis 2023). Ein zentraler Bestandteil der nationalen Wasserstrategie (BMUW 2023) ist die Erhöhung der Wassereffizienz. Für den bewässerungsintensiven Gemüsebau gilt es daher, Wasserverluste durch den verstärkten Einsatz verlustarmer Beregnungstechnik sowie durch ein verbessertes Bewässerungsmanagement zu verringern (Fricke 2018; Ebers et al. 2023) und somit die technische Wassereffizienz zu erhöhen. Dabei ist aus betrieblicher Sicht jedoch die ökonomische Effizienz entscheidend, da effizientere Beregnungstechnik in der Regel mit hohen Investitionen oder Arbeitskosten verbunden (Gödeke et al. 2024).

Zahlreiche betriebswirtschaftliche Analysen untersuchen die Kosten verschiedener Bewässerungstechniken (Gramm 2014; de Witte 2018; Fröba und Belau 2018; Weinheimer 2020; Riedel und Gödeke 2022; Gödeke et al. 2024). Die Kosten variieren je nach Technik – bei Schlägen zwischen zwei und fünf Hektar und einem jährlichen Wasserbedarf von 1.000 m³ pro ha – zwischen 400 € und über 2.400 € pro ha und Jahr. Für Betriebsleitungen bilden diese Informationen eine wesentliche Entscheidungsgrundlage bei der Wahl der Beregnungstechnik, insbesondere im Hinblick auf eine mögliche Umstellung auf effizientere Verfahren. In der Regel werden Lohn- und Maschinenkosten verglichen, wobei die Grundlagen

der Berechnungen stark variieren: teils basierend auf Beispielszenarien, teils auf Durchschnittswerten. Nur wenige Studien, wie etwa Gramm (2014), erheben Daten auf Betriebsebene. Die Kosten setzen sich typischerweise aus Wasserbereitstellung, -zuleitung und -verteilung zusammen (Fröba und Belau 2018).

Während diese Analysen wichtige Informationen zu Kosten der Wasserausbringung für spezifische Ausbringungsverfahren bereitstellen, spielen auf den Betrieben weitere Aspekte eine wichtige Rolle. So sind Lage und Zuschnitt der Beregnungsflächen Bestimmungsfaktoren für die benötigte Anzahl von Beregnungsmaschinen und somit auch für die mögliche Auslastung und Fixkosten für Beregnungstechnik. Der Einfluss geringerer Wasserverluste bei verschiedenen Techniken auf die benötigte Wassermenge und die Bewässerungskosten wird selten ausreichend erfasst. Auch kann in den technikspezifischen Kostenübersichten nicht berücksichtigt werden, dass durch kulturspezifisches Management der Bewässerungsbedarf und somit die Kosten beeinflusst werden können. Techniken wie die Tropfbewässerung beeinflussen zudem andere Feldarbeiten, was bisher kaum in den Analysen abgebildet wird. Ziel dieser Arbeit ist es, diese Forschungslücken zu adressieren und die Bewässerungskosten unter Berücksichtigung regionaler und betrieblicher Bedingungen am Beispiel eines typischen Freilandgemüsebaubetriebs am Niederrhein zu analysieren, wobei übliche betriebliche Praktiken in die Berechnungen einfließen.

2. Daten, Methoden und Vorgehensweise

In der vorliegenden Arbeit wird der methodische Ansatz der Modellierung eines „typischen Betriebes“ für die Beispielregion Niederrhein angewendet. Das Vorgehen basiert auf dem „typical farm approach“ des Agri Benchmark Networks (Chibanda et al. 2020). Der Ansatz erfolgt gemäß der „Standard Operating Procedure (SOP)“.

Die Region Niederrhein wurde aufgrund der hohen regionalen Bedeutung des Gemüsebaus (Thünen-Institut 2020; Destatis 2023) und der dort üblichen hohen Nutzung von Bewässerungstechnik (Destatis 2020, 2024) ausgewählt. Das Produktionssystem ist durch den Freilandgartenbau mit der Produktion von Gemüsekulturen charakterisiert. Der Kern dieser Arbeit zielt auf die Analyse der Arbeitserledigungskosten der Bewässerung ab, damit werden sowohl die fixen und variablen Maschinenkosten als auch die eingesetzte Arbeitszeit im Detail berücksichtigt.

Zur Datenerhebung wurde eine Fokusgruppendifkussion am 02.12.2024 durchgeführt. Teilnehmende waren ein Fachberater für Bewässerung der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalens und sechs Betriebsleitungen der Region sowie das Autorenteam. In einem ersten Schritt legten die Teilnehmenden die Kennzahlen eines für die Region typischen Betriebs in Zusammenhang mit der Bewässerung – darunter Anbauprogramm, Flächenausstattung, die verwendete Bewässerungstechnik und das Bewässerungsmanagement fest. Dabei war das Ziel nicht die Repräsentativität in einem statistischen Sinne, sondern einen für die Region plausiblen und konkreten Beispielbetrieb zu definieren. Dieser sollte hinsichtlich der Bewässerung die regionaltypischen Herausforderungen abbilden, sodass praxisrelevante Anbau- und Bewässerungsszenarien modelliert werden konnten. Nachdem Konsens zu der Definition eines typischen Betriebs erzielt wurde, wurden im zweiten Teil der Fokusgruppendifkussion verschiedene Szenarien für eine effizientere Bewässerung als Anpassung an mögliche zukünftige Einschränkungen in der Wasserverfügbarkeit diskutiert und identifiziert.

Für die Kalkulation der Kosten der Bewässerung wurde ein Modell in der Tabellenkalkulation MS Excel entwickelt. Die Zielgrößen des Modells sind die Arbeitserledigungskosten der Bewässerung nach Kultur und auf Betriebsebene pro Jahr und pro ha Anbaufläche sowie der Wasserbedarf. Die Variablen des Modells umfassen die Anzahl und den Einsatzumfang von Bewässerungstechnik und Pumpen, die Bewässerungsmenge nach Kultur, den Anteil der Bewässerung unter ungünstigen Witterungsbedingungen sowie die Höhe des Wasserentnahmeentgelts. In Ergänzung zu den Daten der Fokusgruppendifkussion wurden zudem Daten des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL) herangezogen (KTBL 2017, 2025a, 2025b).

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Kennzahlen des typischen Betriebs und der Szenarien für optimierte Bewässerung

Der so definierte typische Gemüsebaubetrieb am Niederrhein weist eine Nettokulturfläche von 68 ha und eine Anbaufläche von 117 ha auf. Dabei werden vier verschiedene Kulturen – Eissalat, Mini-Romanasalat, Kohlrabi (jeweils 14 ha) und Porree (26 ha) – angebaut. Diese stehen beispielhaft für die im gärtnerischen Gemüsebau am Niederrhein typischen Schwerpunkte – kurze Pflanzkulturen (Eis-, Kopf- oder Romanasalate, Kohlgemüse für den Frischmarkt) einerseits und andererseits Gemüsekulturen mit längerer Kulturzeit (Porree). Die regionaltypische Flächenstruktur wurde in der Fokusgruppendifkussion so berücksichtigt, dass die Kulturfläche sich auf etwa 18 Schläge mit jeweils unterschiedlichen Schlaggrößen zwischen zwei und zehn Hektar verteilt, die bis zu zehn Kilometern voneinander entfernt liegen. Im Status quo der Bewässerung werden ausschließlich mobile Beregnungsmaschinen mit Starkregner (unterschiedlicher Konfiguration) eingesetzt (vgl. Tab. 1).

Tabelle 1: Merkmale des Status quo und der Szenarien für optimierte Bewässerung

Merkmal	Status quo	Szenario DW*	Szenario DW+*	Szenario DW+TB*
Art der Beregnung	Mobil mit SR*	Mobil mit SR und DW*	Mobil mit SR und DW*	Mobil mit SR, DW und TB*
M_SR* [Anzahl]	6	4	5	4
M_DW* [Anzahl]	0	2	3	3
Tropfbewässerung [ha]	0	0	0	5
Dieselpumpen [Anzahl]	4	4	5	5
Elektropumpen [Anzahl]	3	3	4	4
Bewässerungsgaben unter suboptimalen Bedingungen	Häufig (30 %)	Häufig (30 %)	Selten (5 %)	Selten (5 %), kein Einfluss bei Tropfbewässerung
Gesamtbewässerungsmenge [m ³ /a]	93.112	90.057	87.427	84.779

* Beschreibung: Szenario DW = Szenario mit Düsenwagen, Szenario DW+ = Szenario mit Düsenwagen und erhöhter Kapazität, Szenario DW+TB = Szenario mit Düsenwagen, Tropfbewässerung und erhöhter Kapazität, SR = Starkregner, DW = Düsenwagen, TB = Tropfbewässerung, M_SR = Mobile Beregnungsmaschine mit Starkregner, M_DW = Mobile Beregnungsmaschine mit Düsenwagen

Die Wasserbereitstellung erfolgt durch Diesel- und Elektropumpen. Zunächst wurde der Gesamtwasserbedarf mit gegebener Technik bei optimalen Ausbringungsbedingungen abgeschätzt. Der Bewässerungsbedarf variiert zwischen 1.700 m³ beim Anbau von Porree und 1.000 bis 1.200 m³ pro ha und Jahr bei den übrigen Kulturen. Dabei zeigte sich bereits eine Differenz zum Kontingent gemäß wasserrechtlicher Erlaubnis: Der geschätzte Bedarf

für Salate und Kohlrabi liegt unter dem Kontingent, während der Bedarf beim Porree das kulturspezifische Kontingent um 500 m^3 pro ha und Jahr übersteigt. Auf die Betriebsebene zusammengefasst lag der geschätzte Bedarf mit 90.400 m^3 um 7.400 m^3 höher als das Kontingent der wasserrechtlichen Erlaubnis. Die gegebenen Kapazitäten des typischen Betriebs von sechs mobilen Beregnungsmaschinen sind allerdings nicht ausreichend für eine Bewässerung unter stets optimalen Bedingungen. Daher finden im Status quo etwa 30 % der Bewässerungsgaben unter suboptimalen Witterungsbedingungen statt, bei denen aufgrund Windaufkommen oder stärkerer Verdunstung durch Sonneneinstrahlung der Wasserbedarf um etwa 10 % erhöht ist (Tab. 1).

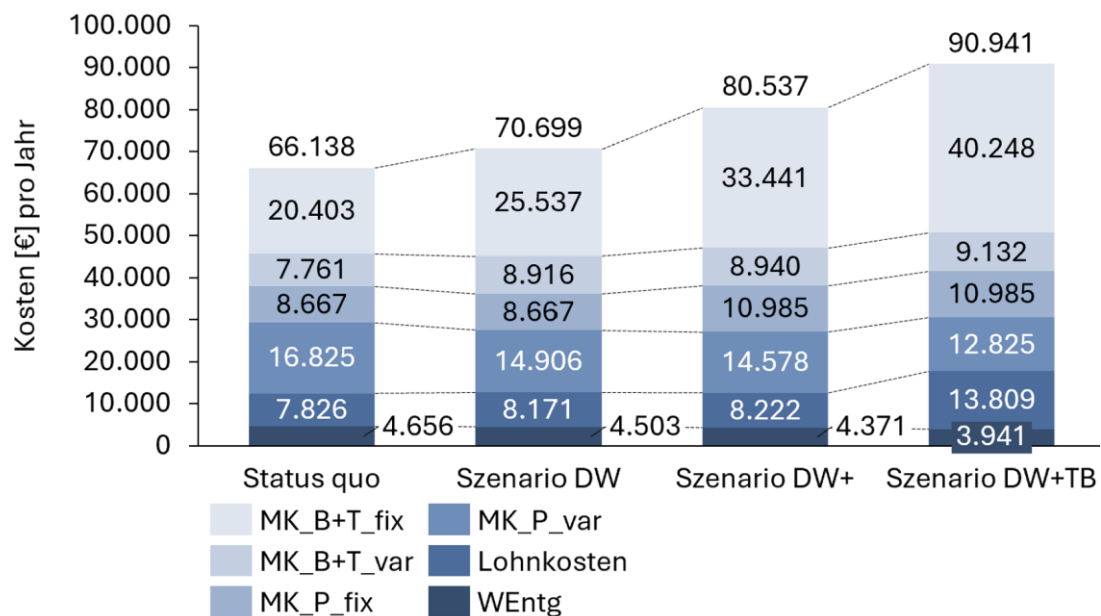
Im Anschluss an die Definition des typischen Betriebs wurden in der Fokusgruppe Möglichkeiten zur Einsparung der Bewässerungsmenge diskutiert. Dabei wurden drei Szenarien für optimierte Bewässerung identifiziert (vgl. Tab. 1). Im Szenario DW werden zwei der mobilen Beregnungsmaschinen mit Starkregner durch Düsenwagen mit höherer Wassereffizienz ersetzt. Es wurde angenommen, dass pro Bewässerungsgabe mit dem Düsenwagen 10 % weniger Wasser ausgebracht wird. Bei gleichbleibender Gesamtzahl der Beregnungsmaschinen ändert sich jedoch in diesem Szenario der Anteil von Bewässerungsgaben unter suboptimalen Bedingungen nicht, sodass sich nur eine geringe Wassereinsparung ergibt (Tab. 1). Im Szenario DW+ wird die Kapazität gegenüber dem Szenario DW um einen Starkregner und einen Düsenwagen erhöht, sodass einerseits Einsparungen durch die effizienteren Düsenwagen erzielt werden, andererseits weniger Bewässerungsgaben unter suboptimalen Bedingungen erfolgen müssen. Im Szenario DW+TB wird zusätzlich auf einem Anteil der Anbaufläche von Porree eine Tropfbewässerung installiert, die mit Elektropumpen betrieben wird. Für die Tropfbewässerung wurde die Annahme getroffen, dass 30 % weniger Bewässerungsmenge benötigt wird, sodass sich insgesamt eine nochmals deutlich reduzierte Gesamtbewässerungsmenge ergibt.

3.2 Kosten des Status quo und der Szenarien für optimierte Bewässerung

Bei der Ermittlung der Arbeitserledigungskosten der Bewässerung wurden folgende Kostenelemente berücksichtigt: fixe und variable Maschinenkosten der Beregnungsmaschinen und der nötigen Traktoren für Transport und Aufstellen/Umstellen, fixe und variable Maschinenkosten der Pumpen, Lohnkosten für Transport, Aufstellen/Umstellen der Beregnungsmaschinen sowie das Wasserentnahmeentgelt. Die Berechnung der Maschinenkosten erfolgte mithilfe des KTBL-Maschinenkostenrechners (KTBL 2025b), der Arbeitszeitbedarf wurde von den Teilnehmenden der Fokusgruppe abgeschätzt. Zum Untersuchungszeitpunkt ist die landwirtschaftliche Bewässerung in Nordrhein-Westfalen von der Entgeltspflicht ausgenommen (WasEG 2004). Aufgrund der Abschaffung dieser Ausnahmeregelung in anderen Bundesländern, wie Rheinland-Pfalz (LWEntG 2024), wurde dieser Kostenfaktor in der Modellierung dennoch berücksichtigt.

Die Arbeitserledigungskosten der Bewässerung (vgl. Abb. 1) belaufen sich beim Status quo auf 66.138 € pro Jahr, beim Szenario DW auf 70.699 € , beim Szenario DW+ auf 80.537 € und beim Szenario DW+TB auf 90.941 € . Somit ergibt sich eine Kostensteigerung von knapp 7 % beim Szenario DW, etwa 22 % beim Szenario DW+ und von knapp 38 % beim Szenario DW+TB im Vergleich zum Status quo. In sämtlichen Szenarien sowie beim Status quo stellen die fixen Maschinenkosten der Beregnungsmaschinen und Traktoren den größten Kostenfaktor dar.

Höhere Lohnkosten durch längere Rüstzeiten bei mobilen Beregnungsmaschinen mit Düsenwagen im Vergleich zum Starkregner sind in den Gesamtkosten von geringerer Bedeutung. Im Szenario DW+TB sind neben den höheren fixen Maschinenkosten auch die Lohnkosten durch den Einfluss auf andere Feldarbeiten (Installation/Beregnung bei Pflanzung/Ernte von Porree) von höherer Bedeutung. Das Wasserentnahmeentgelt (0,05 € pro m³) ist der geringste Kostenfaktor und unterscheidet sich zwischen den Szenarien nur geringfügig, sodass dieses für den typischen Betrieb kein Anreiz für die Umstellung auf effizientere Beregnungstechnik darstellt. Dies gilt im vorliegenden Fall auch für höhere Entgelthöhen von beispielsweise 0,30 €/m³ Wasser. Vielmehr ist das Wasserkontingent der wasserrechtlichen Erlaubnis, das auch im effizientesten Szenario noch geringfügig überschritten wird, der entscheidende begrenzende Faktor.



* Beschreibung: MK_B+T_fix/var = fixe/variable Maschinenkosten der Beregnungsmaschinen und Traktoren; MK_P_fix/var = fixe/variable Maschinenkosten der Pumpen; WEntg = Wasserentnahmeentgelt (0,05 €/m³)

Abbildung 1: Arbeitserledigungskosten des Status quo und der Szenarien für optimierte Bewässerung, in Euro pro Jahr

Die Wasserersparnis aufgrund der höheren Wassereffizienz der Szenarien liegt zwischen 3,3 % und 8,9 % im Vergleich zum Status quo. Dabei zeigt sich zwischen den Szenarien eine unterschiedliche „Kosteneffizienz“ in Bezug auf die eingesparte Wassermenge. Im Szenario DW (3,3 % Ersparnis) ergeben sich Mehrkosten in Höhe von etwa 1,50 € pro gespartem m³ Wasser zu rechnen. Durch die Kapazitätserweiterung im Szenario DW+ wird eine Wasserersparnis von 6,1 % mit Mehrkosten von 2,53 € je gesparten m³ Wasser erzielt. Mehrkosten von 2,98 € pro eingespartem m³ Wasser ergeben sich bei Einsatz von Tropfbewässerung im Szenario DW+TB. Dabei reduziert sich die Bewässerungsmenge um 8,9 % gegenüber dem Status quo.

3.3 Diskussion

Die Ergebnisse stimmen mit denen aus der Literatur überein, die ebenfalls höhere Kosten für den Einsatz effizienter Bewässerungstechnik betonen (vgl. Gramm 2014; Fröba und Belau 2018; Riedel und Gödeke 2022; Ebers et al. 2023; Gödeke et al. 2024). Der Einfluss

von höheren Lohnkosten wurde mit Ausnahme der Tropfbewässerung im Unterschied dazu jedoch als gering eingestuft und die höheren Kapitalkosten als entscheidender limitierender Faktor für den Einsatz dieser Technik identifiziert. Für den typischen Betrieb liegen die fixen Maschinenkosten deutlich höher als in der Literatur, wo eine höhere Auslastung angenommen wird (vgl. Gödeke et al. 2024). Durch höhere Kapazitäten kann der Einsatz unter ungünstigen Wetterbedingungen und entsprechende Wasserverluste weitgehend vermieden werden. Im Szenario DW+ wird der Einspareffekt durch Kapazitätserhöhung deswegen explizit berücksichtigt. Bisher liegen nur wenig Erfahrungen mit Tropfbewässerung in Gemüsekulturen in der Region vor. Es besteht erhebliche Unsicherheit über das Wassereinsparpotenzial, sowie Vor- und Nachteile bei anderen Feldarbeiten wie Unkrautmanagement und Düngung.

Die Ergebnisse dieser Arbeit hängen wesentlich von einigen zentralen Annahmen über das Wassersparpotenzial der verschiedenen Bewässerungstechniken ab. Sie basieren auf einer Kombination aus Literaturerkenntnissen sowie Erfahrungswerten von Fachexperten und Betriebsleitungen der Fokusgruppe. Im Modell wurde eine Wassereinsparung bei gleichem Ertrag von 10 % beim Einsatz des Düsenwagens und von 30 % beim Einsatz der Tropfbewässerung angenommen. Diese vereinfachende Annahme ist ein Schätzwert und nicht ohne weiteres auf andere Regionen, Bodenverhältnisse oder Produktionssysteme verallgemeinerbar.

4. Schlussfolgerung

Die vorliegende Arbeit hat gezeigt, dass der Einsatz effizienterer Bewässerungstechniken mit zum Teil hohen Kosten verbunden ist. Diese resultieren vor allem aus höheren fixen Maschinenkosten. Höhere Lohnkosten fallen beim Düsenwagen in geringem, bei der Tropfbewässerung in erheblichem Umfang an.

Ein höheres Wasserentnahmeentgelt stellt für den typischen Betrieb am Niederrhein keinen ausreichenden Anreiz zum Einsatz effizienterer Beregnungstechnik dar. Vielmehr ist das Bewässerungskontingent der wasserrechtlichen Erlaubnis der entscheidende begrenzende Faktor für die Wasserentnahme, je nach Kultur mit unterschiedlichen die Auswirkungen auf die Bewässerungspraxis. Die Tropfbewässerung wurde nur für wenige typische Gemüsekulturen am Niederrhein als realistische Option angesehen. Neben den hohen Kosten bestehen weitere Herausforderungen bei der Umsetzung, insbesondere durch mögliche Beeinträchtigungen anderer Feldarbeiten. Zudem kann das Einsparpotenzial von effizienter Beregnungstechnik durch die gegebenen Standortbedingungen stark beeinflusst werden.

Weiterer Forschungsbedarf besteht hinsichtlich der Erprobung effizienter Bewässerungstechnik unter Praxisbedingungen und der Quantifizierung der Wassereinsparpotenziale und der Kosten, z. B. in Pilotprojekten in den Gemüseregionen Deutschlands. Dabei sollten die Faktoren Wasserverfügbarkeit und die regionsspezifischen rechtlichen Rahmenbedingungen explizit berücksichtigt werden.

Danksagung

Besonderer Dank gilt dem Thünen-Institut für Betriebswirtschaft und der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen für die fachliche Unterstützung und die gute Zusammenarbeit im Rahmen dieser Arbeit. Die konstruktiven Anregungen und die bereitgestellten Daten haben wesentlich zum Gelingen der Untersuchung beigetragen.

Literatur

- BMUW (2023) Nationale Wasserstrategie - Kabinettsbeschluss vom 15. März 2023. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUW). Online verfügbar unter: https://www.bmuw.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Binnengewasser/BMUV_Wasserstrategie_bf.pdf (Letzter Zugriff am: 11.10.2024)
- Chibanda C, Agethen K, Deblitz C, Zimmer Y, Almadani M, Garming H, Rohlmann C, Schütte J, Thobe P, Verhaagh M, Behrendt L, Staub D, Lasner T (2020) The Typical Farm Approach and Its Application by the Agri Benchmark Network. *Agriculture* 10 (12): 646. DOI: 10.3390/agriculture10120646
- Destatis (2020) Atlas Agrarstatistik Deutschland, Anteil der bewässerten Fläche. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://agraratlas.statistikportal.de/> (Letzter Zugriff am: 12.01.2025)
- Destatis (2023) Kreisfreie Städte und Landkreise nach Fläche, Bevölkerung und Bevölkerungsdichte am 31.12.2022. Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Laender-Regionen/Regionales/Gemeindeverzeichnis/Administrativ/04-kreise.html> (Letzter Zugriff am: 16.11.2024)
- Destatis (2024) Landwirtschaftliche Betriebe mit Bewässerung, Bewässerte Fläche: Bundesländer, Jahre, Größenklassen der landwirtschaftlich genutzten Fläche, 2010-2023, Statistisches Bundesamt (Destatis). Online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/statistic/41141/table/41141-0115> (Letzter Zugriff am: 16.11.2024)
- de Witte T (2018) Wirtschaftlichkeit der Feldbewässerung. In: Schimmelpfennig S, Anter J, Heidecke C, Lange S, Röttcher K, Bittner F (Hg) *Bewässerung in der Landwirtschaft - Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg*. Thünen Working Paper 85. Braunschweig: Thünen-Institut, S. 113-123
- Ebers N, Stupak N, Hüttel S, Woelfert M, Müller-Thomy H (2023) Potenzialabschätzung von technischen Wasserspeicheroptionen, Bewässerungsansätzen und ihrer Umsetzbarkeit. Thünen Working Paper 227. Braunschweig: Thünen-Institut, 49p
- Fricke E (2018) Effiziente Bewässerungstechnik und -steuerung – Stand und Trends. In: Schimmelpfennig S, Anter J, Heidecke C, Lange S, Röttcher K, Bittner F (Hg) *Bewässerung in der Landwirtschaft - Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg*. Thünen Working Paper 85. Braunschweig: Thünen-Institut, S. 65-76
- Fröba N, Belau T (2018) Betriebswirtschaftliche Eckdaten zur landwirtschaftlichen Bewässerung. In: Schimmelpfennig S, Anter J, Heidecke C, Lange S, Röttcher K, Bittner F (Hg) *Bewässerung in der Landwirtschaft - Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg*. Thünen Working Paper 85. Braunschweig: Thünen-Institut, S. 103-112
- Garming H (2025) Steckbriefe zum Gartenbau in Deutschland: Gemüsebau. Braunschweig: Thünen-Institut für Betriebswirtschaft. Online verfügbar unter: https://www.thuenen.de/media/ti-themenfelder/Pflanzenproduktion/Gartenbau/2025-10-29_Steckbrief_Gemuesebau.pdf (Letzter Zugriff am: 25.03.2026)
- Gödeke H, Belau T, Müller M (2024) Technik in der Feldbewässerung – Systemvergleich. In: ALB Bayern e. V. (Hg) *Fachgruppe Bewässerung*. Ausgabe 1-03/2024. (03/2024). Online verfügbar unter: <http://www.alb-bayern.de/fgb1> (Letzter Zugriff am: 11.10.2024)

Gramm M (2014) Untersuchungen zu pflanzenbaulichen Anpassungsstrategien an den klimabedingten Trockenstress und deren Wirtschaftlichkeit unter Nutzung wassersparender Verfahren der Bewässerung und Beregnung. Bewässerung in Sachsen 17/2014. Dresden: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)

KTBL (2017) Gemüsebau: Freiland und Gewächshaus KTBL-Datensammlung. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL)

KTBL (2025a) Feldarbeitsrechner, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL). Online verfügbar unter: <https://daten.ktbl.de/feldarbeit/home.html> (Letzter Zugriff am: 18.02.2025)

KTBL (2025b) Maschinenkosten und Reparaturkosten (MaKost), Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL). Online verfügbar unter: <https://daten.ktbl.de/makost/> (Letzter Zugriff am: 18.02.2025)

LWEntG (2024) Landesgesetz über die Erhebung eines Entgelts für die Entnahme von Wasser aus Gewässern (Wasserentnahmeentgeltgesetz – LWEntG) des Landes Rheinland-Pfalz. Online verfügbar unter: <https://www.landesrecht.rlp.de/bsrp/document/jlr-WaEntgGRPV2P1> (Letzter Zugriff am: 29.01.2025)

Riedel A, Gödeke H (2022) Verfahrensvergleich Bewässerungstechnik. In: Frerichs L (Hg) Jahrbuch Agrartechnik 2021. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge. Online verfügbar unter: https://leopard.tu-braunschweig.de/receive/dbbs_mods_00070203 (Letzter Zugriff am: 10.01.2025)

Thünen-Institut (2020) Thünen Agraratlas, Agraratlas Daten Gemeindeebene 2020. Online verfügbar unter: <https://atlas.thuenen.de/atlant/en/agraratlas> (Letzter Zugriff am: 16.11.2024)

WasEG (2004) Gesetz über die Erhebung eines Entgelts für die Entnahme von Wasser aus Gewässern (Wasserentnahmeentgeltgesetz des Landes Nordrhein-Westfalen – WasEG) Vom 27. Januar 2004 (GV. NRW. S. 30). Zuletzt geändert durch Artikel 13 des Gesetzes vom 8. Juli 2016 (GV. NRW. S. 559), in Kraft getreten am 16. Juli 2016

Weinheimer S (2020) Möglichkeiten einer effizienten Bewässerung im Gemüsebau. Tagung: 3. Runder Tisch Landwirtschaftliche Beregnung in der Südpfalz, SGD Süd (Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd), Neustadt, 26.10.2020. Online verfügbar unter: https://sgdsued.rlp.de/fileadmin/sgdsued/Themen/Wasserwirtschaft/Beregnung/2020-10-26_Moeglichkeiten_Bewaessering_im_Gemuesebau.pdf (Letzter Zugriff am: 24.02.2025)