

Europäische Innovationspartnerschaften (EIP)



IrriMode

Standortangepasste vollautomatische Echtzeitprozessoptimierung von solarbetriebener Bewässerung in der regionalen Landwirtschaft Sachsen-Anhalts, bei gleichzeitiger Digitalisierung der Wasser- und Stoffströme. (BigData-Digitalisierung von Ökosystemen)

Abschlussbericht

Autorinnen und Autoren: Dipl.-Ing. agr. Antje Augstein, Prof. Dr. Annette Deubel,
Prof. Dr. Bernd Dohmen

Datum: 28.10.2022

Impressum

Hauptverantwortlicher der OG

AGRO-SAT Consulting GmbH
Ansprechpartner: Antje Augstein
Schulsstraße 3
06388 Köthen OT Baasdorf
Tel.: +49 (0) 3496-571854
E-Mail: irrimode@agro-sat.de

Für die Förderung zuständige ELER-Verwaltungsbehörde:

Ministerium der Finanzen des Landes Sachsen-Anhalt
EU-Verwaltungsbehörde für die ESI-Fonds - EU-VB-ELER
Editharing 40
39108 Magdeburg
Telefon: +49 (0) 391 567-2046
E-Mail: ELER-VB.MF@sachsen-anhalt.de

Bildnachweise: eigene Aufnahmen der IrriMode GbR

Inhalt

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | Vorhabenplanung | 7 |
| 1.1 | Allgemeine Ausgangslage bzw. Problemstellung des geplanten Projektes | 7 |
| 1.2 | Aufgabenstellung und Zielformulierung des Vorhabens..... | 7 |
| 2 | Verlauf des Vorhabens | 8 |
| 3 | Ergebnisse und Zielerreichung | 13 |
| 3.1 | Haupt- und Nebenergebnisse des Vorhabens..... | 13 |
| 3.2 | Beitrag der Ergebnisse zu den förderpolitischen Zielen..... | 50 |
| 3.3 | Erreichung der Ziele des Vorhabens..... | 50 |
| 4 | Ergebnisverwertung, Kommunikation und Verstetigung..... | 52 |
| 4.1 | Nutzen der Ergebnisse für die Praxis..... | 52 |
| 4.2 | Geplante Publikation, Verbreitung und Verwertung der Ergebnisse..... | 53 |
| 4.3 | Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit | 54 |
| 5 | Schlussfolgerungen und Ausblick | 55 |
| 6 | Literaturverzeichnis..... | 56 |

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Sämaschine für Möhren von Gut Mennewitz GmbH entwickelt..... | 10 |
| Abbildung 2: Ablaufplan gegliedert nach angebauter Kultur..... | 12 |
| Abbildung 3: Witterung in der Vegetationsperiode 21/22 (Daten der Wetterstation am Versuch im Vergleich zum Mittel 1991-2020 (DWD, Station Bernburg / Strenzfeld))..... | 13 |
| Abbildung 4: Witterung in der Vegetationsperiode 21/22 im Vergleich zum Mittel 1991-2020 (DWD, Station Bernburg / Strenzfeld)) | 14 |
| Abbildung 5: Vergleich der Temperaturmessungen (Tageswerte) der Wetterstationen des DWD und des IPZ | 14 |
| Abbildung 6: Vergleich der täglichen Niederschlagsmessungen der Wetterstationen des DWD und des IPZ..... | 15 |
| Abbildung 7: Bodenwassergehalt unter Winterweizen in 0-80 cm, Mittel aus 4 Wiederholungen unbewässert bzw. 2 je Bewässerungsvariante..... | 16 |
| Abbildung 8: Sättigung der nutzbaren Feldkapazität, Mittel aus 4 Wiederholungen unbewässert bzw. 2 je Bewässerungsvariante..... | 16 |
| Abbildung 9: Wasserverbrauch des Winterweizens in den einzelnen Messperioden..... | 17 |
| Abbildung 10: Kumulativer Wasserverbrauch im Vergleich zum Wasserangebot aus Niederschlag und Bewässerung | 18 |
| Abbildung 11: % nFK in 0-30 cm Tiefe | 19 |
| Abbildung 12: % nFK in 30-60 cm Tiefe | 19 |
| Abbildung 13: % nFK in 60-80 cm Tiefe | 19 |
| Abbildung 14: Witterung in der Vegetationsperiode 22 (Daten der Wetterstation am Versuch im Vergleich zum Mittel 1991-2020 (DWD, Station Bernburg / Strenzfeld))..... | 29 |
| Abbildung 15: Witterung in der Vegetationsperiode 21/22 im Vergleich zum Mittel 1991-2020 (DWD, Station Bernburg / Strenzfeld)) | 29 |
| Abbildung 16: Bodenwassergehalt unter Sojabohnen in 0-80 cm, Mittel aus 4 Wiederholungen unbewässert bzw. 2 je Bewässerungsvariante..... | 30 |
| Abbildung 17: Sättigung der nutzbaren Feldkapazität, Mittel aus 4 Wiederholungen unbewässert bzw. 2 je Bewässerungsvariante..... | 31 |
| Abbildung 18: Wasserverbrauch der Sojabohnen in den einzelnen Messperioden..... | 31 |
| Abbildung 19: Kumulativer Wasserverbrauch im Vergleich zum Wasserangebot aus Niederschlag und Bewässerung | 32 |
| Abbildung 20: % nFK in 0-30 cm Tiefe | 33 |
| Abbildung 21: % nFK in 30-60 cm Tiefe | 33 |
| Abbildung 22: % nFK in 60-80 cm Tiefe | 33 |
| Abbildung 23: Messpunkt in Segment 2 der Tropfbewässerung, 01.07.22 | 40 |
| Abbildung 24: Entwicklung der Möhren unter konventioneller Bewässerung (links) und Tropfbewässerung (rechts), 04.08.2022 | 41 |
| Abbildung 25: Witterung in der Versuchszeit (Daten der Wetterstation Baasdorf)..... | 42 |
| Abbildung 26: Bodenwassergehalt unter Möhren in 0-80 cm, Mittel aus je 6 Wiederholungen Tropfbewässerung / 2 Wiederholungen konventionell im Vergleich zur Wasserzufuhr (Niederschlag + Bewässerung) | 43 |
| Abbildung 27: Bodenwassergehalt unter Möhren in 0-80 cm, Einzelwerte der Segmente unter Tropfbewässerung..... | 43 |
| Abbildung 28: Tiefenverlauf der Bodenfeuchte in Abhängigkeit vom Bewässerungsverfahren | 44 |

| | |
|---|---|
| Abbildung 29: Kumulativer Wasserverbrauch im Vergleich zum Wasserangebot aus Niederschlag und Bewässerung | 45 |
| Abbildung 30: Zeitlicher Verlauf des Bodenwassergehalts in in 0-30 cm Tiefe | 46 |
| Abbildung 31: Zeitlicher Verlauf des Bodenwassergehalts in 30-60 cm Tiefe | 46 |
| Abbildung 32: Zeitlicher Verlauf des Bodenwassergehalts in 60-80 cm Tiefe | 47 |
| | |
| Tabelle 1: Durchführungszeiträume und Meilensteinplanung | Fehler! Textmarke nicht definiert. |
| Tabelle 2: Abgerufene Mittel in der gesamten Projektlaufzeit..... | Fehler! Textmarke nicht definiert. |
| Tabelle 3: Ertrag und Wassernutzungseffizienz Winterweizen..... | 21 |
| Tabelle 4: Qualitätsparameter und N-Entzug in Abhängigkeit von der Bewässerung..... | 21 |
| Tabelle 5: Witterung im Projektzeitraum (jeweils Wirtschaftsjahr September-August des Folgejahrs) im Vergleich zum langjährigen Mittel (DWD, Wetterstation Bernburg / Strenzfeld) | 23 |
| Tabelle 6: Einfluss der Bewässerung auf Ertrag, Qualität und Wassernutzung bei Winterweizen im Projektzeitraum..... | 23 |
| Tabelle 7: N-Bilanzen im Versuchszeitraum (Standort Bernburg-Strenzfeld)..... | 25 |
| Tabelle 8: Kosten und Erlöse unter Bewässerung in Winterweizen | 28 |
| Tabelle 9: Ertrag und Wassernutzungseffizienz Sojabohnen | 35 |
| Tabelle 10: Qualitätsparameter und N-Entzug in Abhängigkeit von der Bewässerung..... | 35 |
| Tabelle 11: Witterung während der Vegetationsperiode im Projektzeitraum (jeweils April-September) im Vergleich zum langjährigen Mittel (DWD, Wetterstation Bernburg / Strenzfeld) | 38 |
| Tabelle 12: Einfluss der Bewässerung auf Ertrag, Qualität und Wassernutzung im Projektzeitraum .. | 38 |
| Tabelle 13: Kosten und Erlöse unter Bewässerung in Sojabohnen | 39 |
| Tabelle 14: BBCH-Stadien während der Messperiode | 47 |
| Tabelle 15: Ertragsauswertung der Handernte am 22.09.2022 | 48 |
| Tabelle 16: Wasserverbrauch, Ertrag und Wassernutzungseffizienz (WnE) von Möhren unter Tropfbewässerung und konventioneller Beregnung..... | 48 |
| Tabelle 17: Wasserverbrauch, Ertrag und Wassernutzungseffizienz (WnE) von Möhren in den einzelnen Segmenten..... | 49 |
| Tabelle 18: Ertragsauswertung der Handernte in den einzelnen Segmenten | 49 |
| Tabelle 19: Übersicht der Mittelverwendung nach Arbeitspaketen TV2 und TV3..... | Fehler! Textmarke nicht definiert. |

Zusammenfassung des Projektvorhabens / Abstract

Das EIP-Projekt „IrriMode“ sollte die Grundlage bilden, um die Wettbewerbsfähigkeit der landwirtschaftlichen Betriebe in Sachsen-Anhalt zu stärken und den Bewässerungsprozess in ein SMART FARMING - Modell zu integrieren. Die Einhaltung und Umsetzung von europäischer Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRRL 2000), Integriertem Wasserressourcen Management (IWRM) und der Düngemittelverordnung sollte erleichtert und ein wesentlicher Beitrag zu einer ressourcenschonenden, nachhaltigen Landwirtschaft geleistet werden.

Durch die Verknüpfung von Echtzeitdaten der agrarmeteorologische und bodenkundliche Parameter mit dem lokalen Bewässerungsprozess brachte die moderne Tropfbewässerungstechnologie mehrfach über den Tag verteilte Mikrowassergaben im aktiven Wurzelraum aus. Dadurch sind Wasserverluste durch Versickerung stark minimiert bzw. gänzlich ausgeschlossen. Die Prozessoptimierung erfolgt durch die lokale u. automatische Messung von Echtzeitdaten wie Temperatur, Niederschlag, Verdunstung und Bodenfeuchte aus 9 verschiedenen Tiefen, die via GSM-Netz an eine serverbasierte Kalkulationsroutine übertragen werden. Das Ergebnis wird als Steuersignal via GSM-Modul an die vollautomatisierte und solarbetriebene Bewässerungssteuerung übergeben.

Pflanzenbauliche Erkenntnisse:

- Trockenstress kann mit der Tropfbewässerung in Weizen, Soja und Möhren effizient vermieden werden.
- Im Weizen ließen sich in den Versuchsjahren bis 25 % Mehrertrag generieren.
- Bei Sojabohnen lassen sich weit höhere Mehrerträge erzeugen.
- Die Proteingehalte fallen in beiden Kulturen unter Bewässerung niedriger aus.
- Steigerung der Bodenwassernutzungseffizienz in allen Kulturen
- Sicherung der Erträge und Qualitäten der Möhren bei geringerem Wasserverbrauch

Abstract

The EIP project "IrriMode" should provide the basis to strengthen the competitiveness of farms in Saxony-Anhalt and to integrate the irrigation process into a SMART FARMING model. Compliance with and implementation of the European Water Framework Directive (EU-WRRRL 2000), Integrated Water Resources Management (IWRM) and the Government regulations for the use of fertilizer should be facilitated and a significant contribution made to a treatment with more care of resources leading to a sustainable agriculture.

By linking real-time data of the agro-meteorological and soil parameters with the local irrigation process, the modern drip irrigation technology applied micro-watering to the active root zone several times throughout the day. As a result, water losses through seepage were greatly minimized or completely avoided. The process was optimized by local and automatic measurement of real-time data such as temperature, precipitation, evaporation and soil moisture from 9 different depths, which were transmitted to a server-based calculation routine via the GSM network. The result has been transferred as a control signal via GSM module to the fully automated and solar-powered irrigation control.

Conclusions for plant production:

- Drought stress can be efficiently avoided with drip irrigation in wheat, soy and carrots.
- During the trial years, up to 25% more yield could be generated in wheat.

IrriMode

During the trial years, up to 25% more yield could be generated in wheat.

- Far higher additional yields can be generated with soybeans.
- Protein levels are lower in both crops under irrigation.
- Increasing soil water use efficiency in all crops
- Securing the yield and quality of the carrots with less water consumption

1 Vorhabenplanung

1.1 Allgemeine Ausgangslage bzw. Problemstellung des geplanten Projektes

Einige Gebiete in Sachsen-Anhalt zählen mit zu trockensten von ganz Deutschland. Verfügbare Wasserressourcen werden immer stärker genutzt, woran die Bewässerung in der Landwirtschaft in vielen Regionen einen nicht geringen Anteil hat. Da es gleichzeitig vielerorts die Tendenz einer Verringerung der Wasserressourcen gibt, nimmt auch vor dem Hintergrund des Klimawandels das Bewusstsein für diese Problematik und auch eine kritische Sicht auf die Bewässerung in der Landwirtschaft zu. In Sachsen-Anhalt gibt es ca. 20000 Hektar (Stand 2008) Beregnungsfläche. Es kann davon ausgegangen werden, dass es in Zukunft mehr limitierende Regelungen von Seiten des Gesetzgebers geben wird.

Zur Bewässerung wird Brunnen- und/oder Oberflächenwasser genutzt. Seit 2012 ist in Sachsen-Anhalt die Entnahme von Wasser kostenpflichtig. Der Bedarf von Wasser für die Bewässerung in der Landwirtschaft wird sich zukünftig erhöhen. Dem entgegen läuft die Limitierung der jährlichen Entnahmemenge. D.h. der Umgang mit der Ressource Wasser muss effektiver werden und dabei unter verschiedenen Gesichtspunkten (Wasserhaushalt, Naturschutz, Ökonomie) Nachhaltigkeit erzielt werden. Die Problematik der Frage nach der richtigen Menge der Wassergabe, in Abhängigkeit von der Kultur, Bodenart, Klima und Technik beschäftigt die Landwirtschaft, Versuchs- und Forschungseinrichtungen stetig. Ein weiteres Problem sind die hohen Nitrateinträge aus der Landwirtschaft und deren starke Abhängigkeit vom Bodenwasserhaushalt. Die Ausgangslage besteht aus praxiserprobter Sensortechnik, leistungsfähigen Solarpumpen, teilautomatisierter Steuerungstechnik (z.B. für Pumpen), Beratungsringe und Entscheidungshilfen für die Bewässerung.

Landwirtschaft 4.0 ist eine treibende Initiative auf Bundesebene und dient der Digitalisierung von landwirtschaftlichen Produktionsprozessen. Um das Potential zur innovativen Digitalisierung des Bewässerungsprozesses in der Landwirtschaft jedoch umfassend nutzen zu können, sind eine Reihe von Herausforderungen (Entwicklung von Schnittstelle, Digitalisierung der Ökosysteme, etc.) zu bewältigen. Der Schwerpunkt dabei liegt auf der Nutzbarmachung sowie Verknüpfung von diversen heterogenen Echtzeitdaten mit serverbasierenden Kalkulationsroutinen und die Entwicklung von möglichst wiederverwendbaren interoperablen Schnittstellen für die vollautomatische Bewässerungssteuerung.

1.2 Aufgabenstellung und Zielformulierung des Vorhabens

Innerhalb des Innovationsprojektes „Standortangepasste vollautomatische Prozessoptimierung von solarbetriebener Bewässerung in Sachsen-Anhalt, wird der technische Bewässerungsprozess für die Landwirtschaft in Echtzeit optimiert und die Grenzen der solarbetriebenen Bewässerung ermittelt. Die Digitalisierung von Wasser – und Stoffströmen mit pflanzenbaulichen und agrarmeteorologischen Parametern und deren Verknüpfung durch interoperable Schnittstellen bildet nach erfolgreichen Tests die Basis für einen praxistauglichen Prototypen. Dabei werden der Bodenwasserhaushalt und die Stoffströme (gelöste Düngesalze im Boden) abgebildet und prognostiziert.

Die vollautomatisierte Bewässerung soll langfristig die Wettbewerbsfähigkeit der landwirtschaftlichen Betriebe in Sachsen-Anhalt stärken und den Bewässerungsprozess noch stärker in das „SMART FARMING“ – Modell einbinden. Die Einhaltung und Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRR 2000, Integriertes Wasserressourcen Management (IWRM)), der

Nitrat-VO oder der Düng-VO soll damit erleichtert werden und somit einen wesentlichen Beitrag für eine ressourcenschonende nachhaltige Landwirtschaft leisten. Dem "Zielkonflikt Wasser" soll entgegengewirkt werden. Der Wasserbedarf in der Landwirtschaft wird durch ein Echtzeitprozessmodell an den Standort angepasst und optimiert. Dadurch können kurzfristige Wettereinflüsse direkt in der Optimierung der Wassergaben berücksichtigt werden. Als Ergebnis soll eine vollautomatische Echtzeitbewässerungssteuerung als Dienstleistung "SMART FARMING" Service entwickelt werden. Der Zu- und Abfluss des Wassers für die Bewässerung und der Nährstoffe wird erfasst, digitalisiert und als Datenbasis zur Verwendung stehen. Die Grenzen der solarbetriebenen Niederdruckbewässerung im Raum Sachsen-Anhalt werden bestimmt (Flächendimensionen und Wasservolumenströme).

2 Verlauf des Vorhabens

Mit Projektbeginn kam in Strenzfeld ab September eine 2 ha große Versuchsfläche mit unterirdisch, in 40 cm Tiefe, verlegten Bewässerungsrohren zum Einsatz. Es wurden 2 landwirtschaftliche Kulturen Winterweizen und Soja angebaut und untersucht. Der Winterweizen wurde im September gedrillt und die Aussaat der Soja erfolgte im Mai, wobei die Flächen im darauffolgenden Jahr wegen des Fruchtfolgewechsels getauscht wurden. Die Soja diente dem Weizen als Stickstofflieferant im kommenden Anbaujahr. Die Fläche teilte sich in 16 Parzellen auf, von denen 8 mit WW und 8 mit Soja bestellt wurden. Diese halbierten sich wiederum in bewässerte und unbewässerte Parzellen.

Nach dem Auflaufen der Bestände wurden 9 Bodensonden und 16 Divinerrohre in die bewässerten und unbewässerten Parzellen eingebaut, um den Verlauf der Bodenfeuchte zu kontrollieren. Die Platzierung der Bodensonden erfolgte in unmittelbarem Abstand zu den Beregnungsrohren. Somit ließen sich die Beregnungsgaben in den erstellten Diagrammen im „IrriMax Live“, einem Programm zur Datenerfassung der Bodensonden, direkt nachvollziehen.

Des Weiteren wurden Klima- und Wetterdaten vom Standort aufgezeichnet, um Temperatur- und Niederschlagsverteilung und andere Parameter für die Modulation der Bewässerungsbedarfs und für Auswertungen zu nutzen. Die Wetterdaten liefen in dem Programm „Field Climate“ vom Hersteller „Pessi“ auf und konnten dort weiterverarbeitet werden oder über eine API-Schnittstelle an die Modulation geschickt werden. Eine API-Schnittstelle gab es auch im „IrriMax Live“.

Für die Berechnung von Bewässerungsempfehlungen musste der Standort mit den Bodeneigenschaften in einem Simulationsmodell abgebildet werden. Mit der Software des Projektpartners DHI WASY „MIKE SHE“ wurde ein Bodenwasserhaushaltsmodell erstellt. Dies bildete die Basis zur Ermittlung der Wasserkapazität des Bodens. Ein zweites Simulationsmodell zeigte die Pflanzenentwicklung über den Vegetationszeitraum und wurde als Pflanzenwachstumsmodell im MIKE SHE angelegt.

Die aktuellen Daten vom Boden und Klima liefen über die API-Schnittstellen in ein operationelles Modell ein (MIKE OPERARION), wurden mit dem ausgewiesenen Bewässerungsbedarf des Simulationsmodells aus MIKE SHE verrechnet und als tägliche Bewässerungsempfehlung ausgegeben. Der Befehl zum Bewässern ging an ein GSM-Modem, welches sich an der Beregnungsanlage auf dem Feld befand und das Ventil eines Segments zum Bewässern öffnete. Nach Ausgabe der empfohlenen Wassermenge wurde das Ventil wieder geschlossen. Die Bewässerung konnte ebenso über ein

Bewässerungsplan im zugehörigen Programm zur Beregnungsanlage „Galcon“ aufgestellt werden. Hierbei wurden feste zeitliche Abläufe mit vorgeplanter Bewässerungsmenge definiert, in denen sich die Ventile zur Wassergabe öffneten oder schlossen.

Im Frühjahr mit Beginn der Beregnungssaison wurde die Beregnungsanlage in Funktion gesetzt und das Solarpumpensystem mit Steuertechnik und Controller aufgebaut. Ein Wassercontainer diente als Wasserreservoir in dem die Solarpumpe (Brunnenpumpe) eingelassen wurde. Die Energieversorgung der Pumpe kam von den in der Nähe platzierten Solarpanelen. Eine Bewässerung erfolgte nur tagsüber teil- bzw. vollautomatisiert.

Die Bestände wurden wöchentlich von Mitarbeitern der Hochschule bonitiert, untersucht und die Bodenfeuchte zur Evaluierung und Auswertung mit einer Messlanze erfasst. Die pflanzenbaulichen Pflegemaßnahmen und Service leistete der Projektpartner DLG als Betreiber der Anlage in Strenzfeld. Kurz vor der Ernte entsprechend den Wetterbedingungen wurde die Beregnung eingestellt, um ein gutes Abreifen der Bestände in den bewässerten Varianten zu ermöglichen. Die Bodensonden und Divinerrohre mussten zurückgebaut und die Beregnungsanlage winterfest gemacht werden. Zur genauen Ertrags erfassung in den Segmenten kam ein Parzellenmähdrescher zum Einsatz.

Die Übertragung der Erfahrungen von der Versuchsanlage in Strenzfeld auf die Praxisfläche in Arensdorf erfolgte im dritten Projektjahr. Entgegen der Planung, eine Kreisberegnung einzusetzen, wurde wegen zu geringer Brunnenleistung auf eine Tropfberegnungsanlage gesetzt, die zur Absicherung der Wasserverfügbarkeit über einen 30m³ großen Wassercontainer gespeist wurde. Die Befüllung des Wassercontainers erfolgte in den Mittagsstunden über eine Elektropumpe, die sich im Brunnen befand. Die restliche Tageszeit konnte für die Bewässerung der Segmente genutzt werden. Die Investition einer Tropfberegnungsanlage ist sehr hoch, demzufolge wurden Waschmöhren angebaut, mit dem Gedanken einer schnelleren Amortisierung der Investition.

Die Aussaat der Möhren begann Ende April / Anfang Mai und erforderte wegen des sehr feinen Saatgutes eine ausgesprochen gute Saatbettvorbereitung. Der Boden sollte sehr feinkrümlig sein. Zur Aussaat kam eine von der Gut Mennewitz GmbH entwickelte Sämaschine zum Einsatz (Abb. 2), die mehrere Arbeitsschritte vereinigt. Das Beet wird gefräst, der Damm geformt, gleichzeitig wird der Tropfschlauch mittig in 4 cm Tiefe abgelegt, das Saatkorn links und rechts neben dem Schlauch pneumatisch ausgebracht und zum Schluss angewalzt. Die Schlauchenden werden im Anschluss mit den Wasserzuleitungen verbunden und die Ventile zur Steuerung angebaut. Die Bewässerungssteuerung erfolgt wie bei der Anlage in Strenzfeld über ein Solarpumpensystem, Steuertechnik und Controller für die Bewässerungsanlage und Solarpumpe. Eine hydraulische Planung des Projektpartners Irriproject verhalf, die 3,5 ha große Möhrenfläche so in Segmente zu unterteilen, dass eine Bewässerung von 4 Segmenten pro Tag mit der verfügbaren Wassermenge und nach einem festen Zeitplan möglich ist.



Abbildung 1: Sämaschine für Möhren von Gut Mennewitz GmbH entwickelt

Das Bewässerungsmanagement auf der tropfberegneten Möhrenfläche wurde mit einer benachbarten konventionell bewässerten 4 ha großen Möhrenfläche (Rohrberegnung) verglichen. Aussaatstärke, Sorte und pflanzenbauliche Maßnahmen waren gleich gehalten. Die Mitarbeiter der Hochschule führten wöchentliche Bonituren und Messungen der Bodenfeuchte durch. Dafür wurden 8 Divinerrohre in die jeweiligen Segmente eingebaut. Für die Modulierung und zur Ausgabe der Bewässerungsempfehlung aus der Simulation lieferten 4 Bodensonden über eine API-Schnittstelle aus IrriMax Live stündlich die notwendigen Bodenfeuchtwerte. Die Wetterdaten zum Abgleich und zur Kontrolle kamen von der in Baasdorf installierten Wetterstation des Betriebes. Bewässerungsempfehlungen gingen täglich aus MIKE OPERATION an eine festgelegte E-Mail-Adresse. Der Befehl an das installierte GSM-Modul zum Öffnen der Ventile und dem Start der Bewässerung konnte zwar ausgeführt werden, doch die für die Umsetzung benötigten Wassermengen waren an dem Standort nicht verfügbar. Der genutzte Brunnen lieferte nur 4-6 m³ Wasser pro h, was sich für eine vollautomatisierte Bewässerungssteuerung nicht eignete. Ein fest vordefinierter Bewässerungsplan

unter Berücksichtigung der Empfehlungswerte aus der Modulation wurde stattdessen verwendet, der auch die Füllzeiten des Wassercontainers mitberücksichtigte.

Die Ernte der Möhren begann nach dem Abstellen der Beregnung im September mit einer Handerte, um im Vorfeld Aussagen über Ertrag und Qualität treffen zu können. Pro Segment und in der Nähe der Divinerrohre wurden die Möhren aus einer Beetlänge von 4 m herausgezogen, gewogen und sortiert. Eine Datenauswertung zeigte eine Tendenz des zu erwartenden Ertrages auf der tropfberegneten Fläche gegenüber rohrberegneter Möhrenfläche.

Die Rodung der Möhren wurde mit einem Bandroder durchgeführt. Zuvor musste die Bodensonden sowie Divinerrohre ausgebaut und die Tropfberegnungsanlage zurück gebaut werden. Eine spezielle Maschine wurde zum Bergen der gespülten und gereinigten Tropfschläuche für diesen Zeitraum ausgeliehen. Darauffolgend begann mit der Demontage und Einlagerung des Solarpumpensystems, der Controller, des Wassercontainers und der Zuleitungen die Beräumung der Fläche. Der Bandroder erfasste die Erträge über die Anzahl der mit Möhren gefüllten Kisten. Eine Sortiermaschine teilt die geernteten Möhren nach dem Waschen in verkaufsfähige und nicht verkaufsfähige Ware.

| Anbau Winterweizen - Anlage in Strenzfeld | Anbau Soja - Anlage in Strenzfeld | Anbau Möhren - Anlage in Arensdorf |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> •Aussaat im September •Einbau der Bodensonden und Divinerrohre •Wetterdaten aufzeichnen •Erstellung Bodenwasser haushaltmodell <ul style="list-style-type: none"> •Mike She •Erstellung Pflanzenwachstumsmodell <ul style="list-style-type: none"> •Mike She •Installation Bewässerungsanlage •Aufbau Solarpumpensystem •Installation Steuertechnik und Controller •Erstellung Bewässerungsplan <ul style="list-style-type: none"> •Wasserbedarf aus Simulationsmodellen und Bodensonden ermittelt •Ausgabe der Bewässerungsempfehlung per E-Mail, an GSM-Modul und Ventil <ul style="list-style-type: none"> •Mike Operation •Verrechnung mit Echtzeitdaten von Klima, Boden •ackerbauleiche Pflege der Bestände •Monitoring der Bestände und Messung Bodenfeuchte •Instandhaltung Wartung der Anlagen •Kalibrierung der Systeme zur Anpassung der Bewässerungsmengen •Ausbau der Bodensonden und Divienrohre •Erntemaßnahmen im Juli •Winterfestmachung der Beregnungsanlage | <ul style="list-style-type: none"> •Aussaat im Mai •Einbau der Bodensonden und Divinerrohre •Wetterdaten aufzeichnen •Erstellung Bodenwasser haushaltmodell <ul style="list-style-type: none"> •Mike She •Erstellung Pflanzenwachstumsmodell <ul style="list-style-type: none"> •Mike She •Installation Bewässerungsanlage •Aufbau Solarpumpensystem •Installation Steuertechnik und Controller •Erstellung Bewässerungsplan <ul style="list-style-type: none"> •Wasserbedarf aus Simulationsmodellen und Bodensonden ermittelt •Ausgabe der Bewässerungsempfehlung per E-Mail, an GSM-Modul und Ventil <ul style="list-style-type: none"> •Mike Operation •Verrechnung mit Echtzeitdaten von Klima, Boden •ackerbauleiche Pflege der Bestände •Monitoring der Bestände und Messung Bodenfeuchte •Instandhaltung Wartung der Anlagen •Kalibrierung der Systeme zur Anpassung der Bewässerungsmengen •Ausbau der Bodensonden und Divienrohre •Erntemaßnahmen im September •Winterfestmachung der Beregnungsanlage | <ul style="list-style-type: none"> •im Mai - Damm formen, Tropfrohre verlegen und Aussaat ein Arbeitsgang •Einbau der Bodensonden und Divinerrohre •Wetterdaten aufzeichnen •Erstellung Bodenwasser haushaltmodell <ul style="list-style-type: none"> •Mike She •Erstellung Pflanzenwachstumsmodell <ul style="list-style-type: none"> •Mike She •Hydraulische Planung und Installation der Bewässerungsanlage •Aufbau Solarpumpensystem •Installation Steuertechnik und Controller •Erstellung Bewässerungsplan <ul style="list-style-type: none"> •Wasserbedarf aus Simulationsmodellen und Bodensonden ermittelt •Ausgabe der Bewässerungsempfehlung per E-Mail, an GSM-Modul und Ventil <ul style="list-style-type: none"> •Mike Operation •Verrechnung mit Echtzeitdaten von Klima, Boden •ackerbauleiche Pflege der Bestände •Monitoring der Bestände und Messung Bodenfeuchte •Instandhaltung Wartung der Anlagen •Kalibrierung der Systeme zur Anpassung der Bewässerungsmengen •Ausbau der Bodensonden und Divienrohre •Rückbau der Beregnungsanlage und Winterfestmachung •Ernte mit Bandroder im Oktober |

Abbildung 2: Ablaufplan gegliedert nach angebaute Kultur

3 Ergebnisse und Zielerreichung

3.1 Haupt- und Nebenergebnisse des Vorhabens

Auswertung des Bewässerungsversuchs im Winterweizen

Versuchsjahr 2021/22

Die Witterungsperiode 2021/22 war ähnlich wie 2017/18 durch ein extremes Niederschlagsdefizit geprägt.

Abbildung 3 zeigt den Witterungsverlauf der aktuellen Vegetationsperiode, die von der Pessl-Wetterstation am Versuch erfasst wurde:

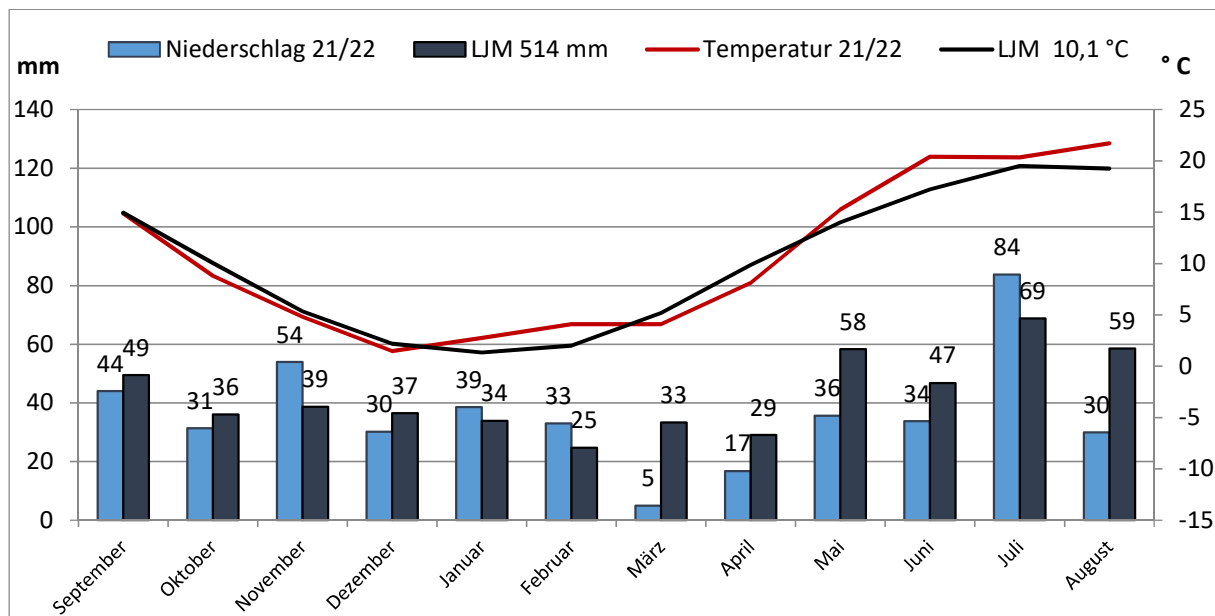


Abbildung 3: Witterung in der Vegetationsperiode 21/22 (Daten der Wetterstation am Versuch im Vergleich zum Mittel 1991-2020 (DWD, Station Bernburg / Strenzfeld))

Für den Zeitraum September 2021-August 2022 ergab sich eine Jahresdurchschnittstemperatur von 10,6 °C und eine Niederschlagssumme von 436 mm, was etwa 85 % des durchschnittlichen Jahresniederschlags entspricht. Allerdings fielen ab Mitte Juni erhebliche Abweichungen zu den Werten der nur 500 m entfernten Wetterstation des DWD auf. Diese wies in diesem Zeitraum nur ca. halb so hohe Niederschlagsmengen aus, was auch nicht durch echte Differenzen erklärbar war, welche bei Gewitterniederschlägen kleinräumig möglich sind.

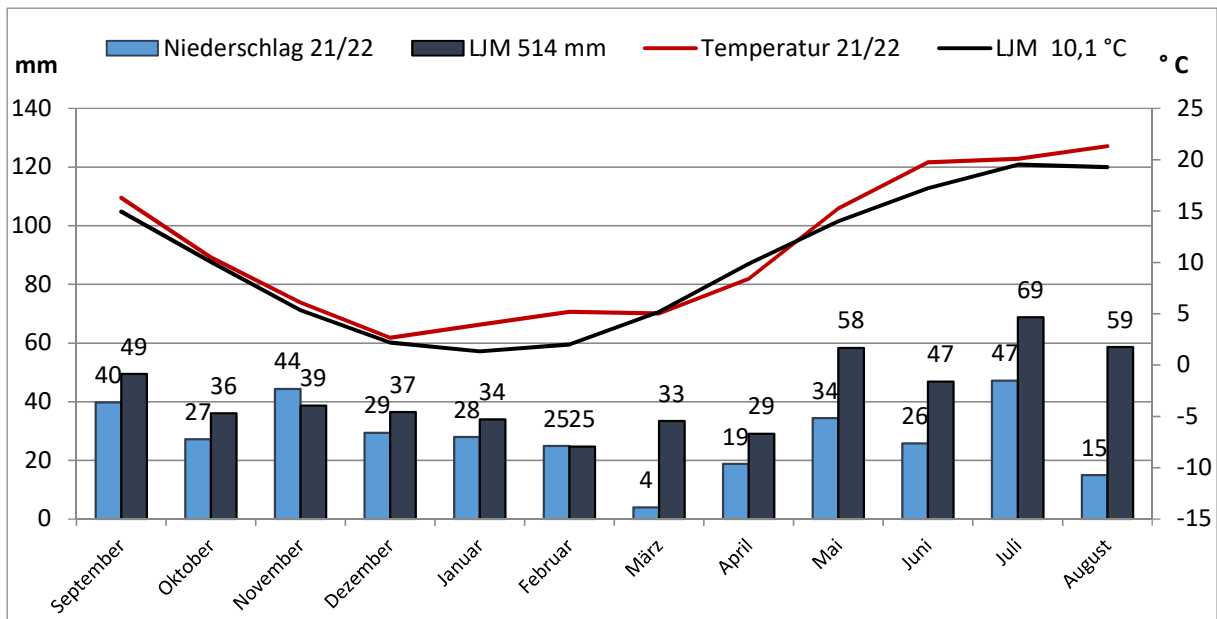


Abbildung 4: Witterung in der Vegetationsperiode 21/22 im Vergleich zum Mittel 1991-2020 (DWD, Station Bernburg / Strenzfeld))

Nach den Werten des DWD (Abb. 4) lag der Jahresniederschlag bei lediglich 339 mm (66% des langjährigen Mittels bei einer Durchschnittstemperatur von 11,2 °C – 1,1 K über dem 30-Jahresmittel. Von März bis August zeigte sich ein dramatisches Niederschlagsdefizit bei gleichzeitig teils extrem hohen Sommertemperaturen, vor allem während der Kornfüllungsphase im Juni.

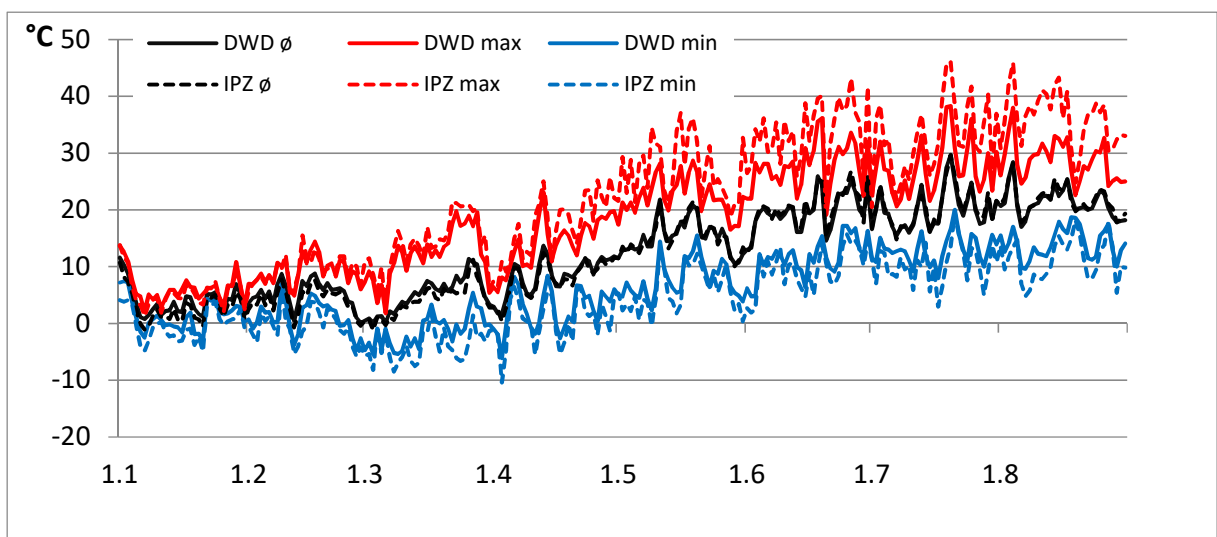


Abbildung 5: Vergleich der Temperaturmessungen (Tageswerte) der Wetterstationen des DWD und des IPZ

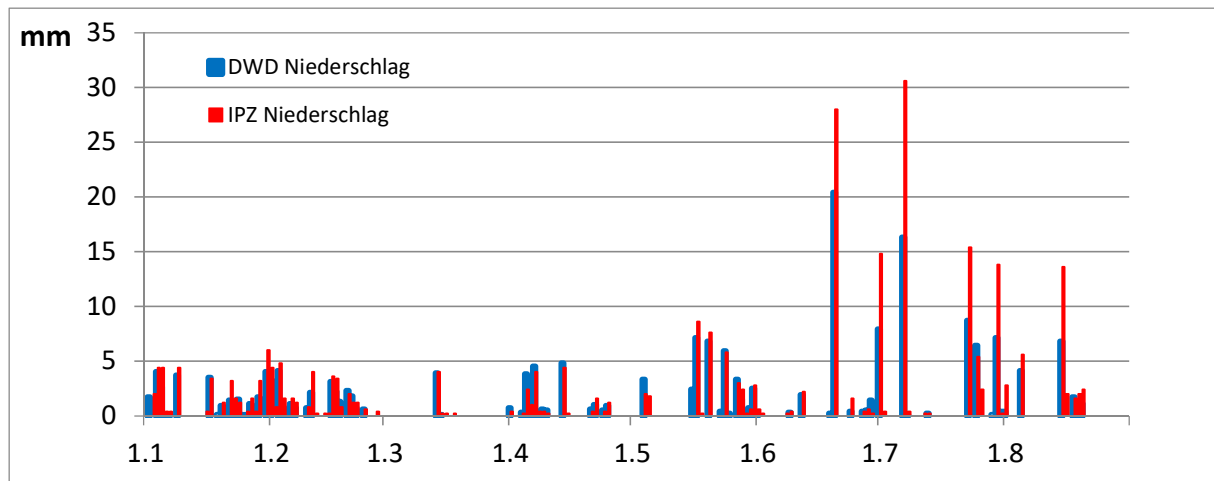


Abbildung 6: Vergleich der täglichen Niederschlagsmessungen der Wetterstationen des DWD und des IPZ

Um die Unsicherheiten bei der Erfassung der Wetterdaten zu verdeutlichen, sind in Abb. 5+6 die Messwerte der beiden Stationen von Januar bis August 2022 gegenübergestellt.

Bei den Temperaturmessungen zeigen sich vor allem Abweichungen in den Tageshöchst- und -tiefsttemperaturen. Hier waren die Ausschläge nach oben und unten an der Pessl-Station des IPZ weit stärker als beim DWD. Die Tagesmitteltemperaturen waren jedoch recht gut vergleichbar (Abb. 7).

Bis Mitte Juni zeigten sich auch keine relevanten Unterschiede bei den gemessenen Niederschlagsmengen, die in diesem Zeitraum immer nur bei wenigen mm pro Niederschlagsereignis lagen. Bei stärkeren Einzelniederschlägen ab Ende Juni fielen jedoch erhebliche Differenzen auf, die auf eine fehlerhafte Niederschlagsmessung an der Pessl-Station hindeuten.

Ab Anfang November bis zur Ernte wurde die Bodenfeuchte in Winterweizen mit einer mobilen Bodenfeuchtesonde Diviner 2000® (Sentek sensor technologies) mittels Frequency Domain Reflektometrie (FDR) gemessen, mit Beginn der Vegetation im wöchentlichen Turnus. Dabei wurde das Bodenprofil bis 80 cm Tiefe in 10 cm-Schritten erfasst. Gleichzeitig erfolgt eine Bonitur der Bestandesentwicklung.

Bedingt durch relativ kühle Temperaturen im März / April waren die Bestände anfangs noch ausreichend mit Wasser versorgt. Fehlende Niederschläge erschwerten vor allem die Verwertung der Stickstoffdüngung. Im Mai / Juni zeigten sich dann aber zunehmend Trockenstresssymptome.

In den folgenden Grafiken sind die bewässerten Varianten im A- und B-Block separat dargestellt, da die beiden Wiederholungen in Block A möglichst wassersparend, die beiden

Wiederholungen in Block B nach Modellierung bewässert wurden. Unbewässert ist das Mittel aus 4 Wiederholungen dargestellt.

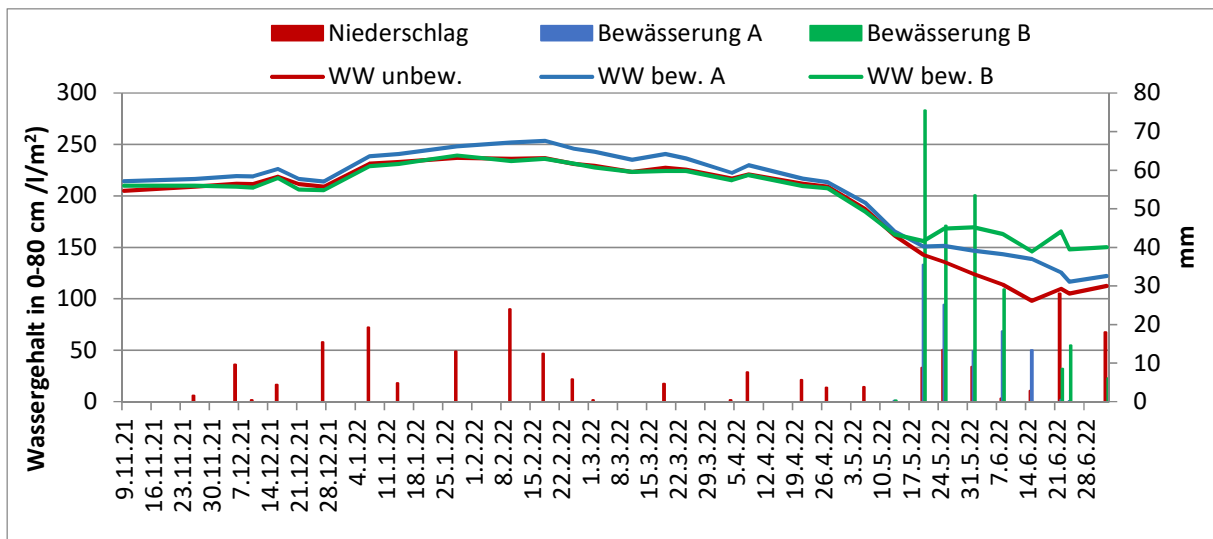


Abbildung 7: Bodenwassergehalt unter Winterweizen in 0-80 cm, Mittel aus 4 Wiederholungen unbewässert bzw. 2 je Bewässerungsvariante

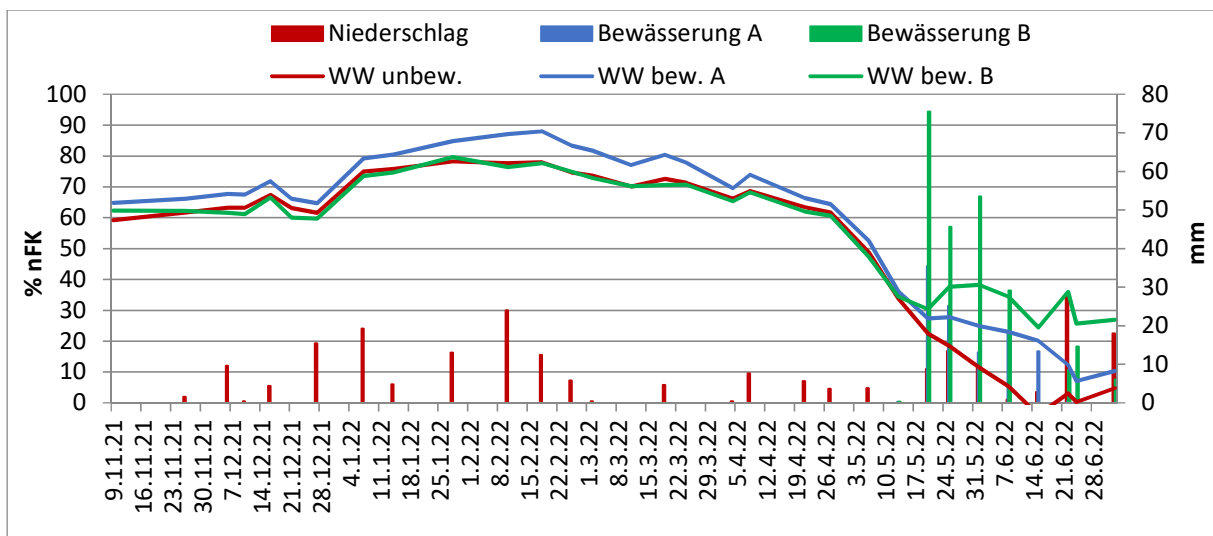


Abbildung 8: Sättigung der nutzbaren Feldkapazität, Mittel aus 4 Wiederholungen unbewässert bzw. 2 je Bewässerungsvariante

Dass der Kurvenverlauf der bewässerten Parzellen im A-Block anfangs etwas über den anderen Werten lag (Abb. 7+8) dürfte an kleinräumigen Bodenunterschieden liegen. Während unbewässert und bewässert B das Maximum der Bodenfeuchte mit 79 bzw. 80 % nFK bereits Ende Januar gemessen wurde, stieg der Wert bewässert A noch bis 18.02.22 auf 88 % nFK an. Zusatzwasser wurde in dieser Zeit nicht gegeben. Ab Anfang April ging der Bodenwassergehalt im Gesamtprofil in allen Varianten dramatisch zurück und erreichte Mitte Mai die kritische Grenze von 30 % nFK. Die im Mai / Juni zugeführten Zusatzwassermengen differierten

zwischen den beiden Varianten erheblich. Allein nach dem Verlauf der Bodenfeuchte im Gesamtprofil erscheinen die gewaltigen Wassermengen in der modellgestützten Variante B sogar berechtigt. In dieser Variante wurde die Bodenfeuchte bis zur Ernte bei ca. 30 % nFK gehalten. Allerdings war der Wasseraufwand dafür schon angesichts der insgesamt Wasserknappheit in der Region kaum praxisrelevant. Bei reduzierter Bewässerung fiel der Wassergehalt bis Mitte Juni auf 20 % nFK, bis Ende Juni unter 10 % nFK. In der unbewässerten Variante war der Bodenwasservorrat bereits Anfang Juni vollständig erschöpft, der Bestand ging in die Notreife.

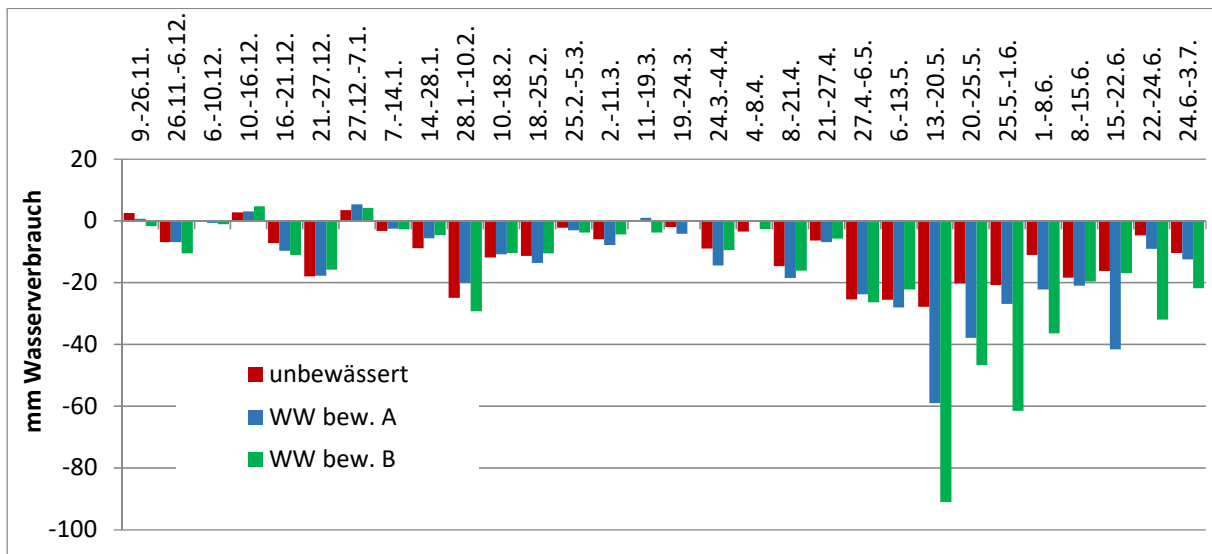


Abbildung 9: Wasserverbrauch des Winterweizens in den einzelnen Messperioden

Abb. 9 zeigt die Wasserverbräuche der einzelnen Messperioden. Ausschläge nach unten und oben im Dezember sind durch Frost- und Tauperioden zu erklären, anfangs vermutlich auch verbunden mit Setzungserscheinungen. Deutliche Unterschiede zwischen den Varianten gibt es erst mit Beginn der Zusatzwassergaben im Mai. Deutlich sind Unterschiede zwischen den beiden Bewässerungsvarianten zu sehen. Scheinbare Verbräuche von bis zu 91 mm in nur einer Woche sind jedoch selbst bei hohen Temperaturen nicht realistisch. Gerade bei hohen Wasserzufuhren über die Tropfschläuche verfälscht die langsame horizontale Verteilung bis zur Messstelle die Ergebnisse. Im Bereich der Tropfschläuche dürfte die Bodenfeuchte weit höher gewesen sein als in Abb. 7+8 ausgewiesen. Dies stellt auch ein erhebliches Problem für die Modellierung notwendiger Bewässerungsmengen dar, auch wenn versucht wurde, einen Teil der Permanentsonden dichter an den Tropfschläuchen zu platzieren.

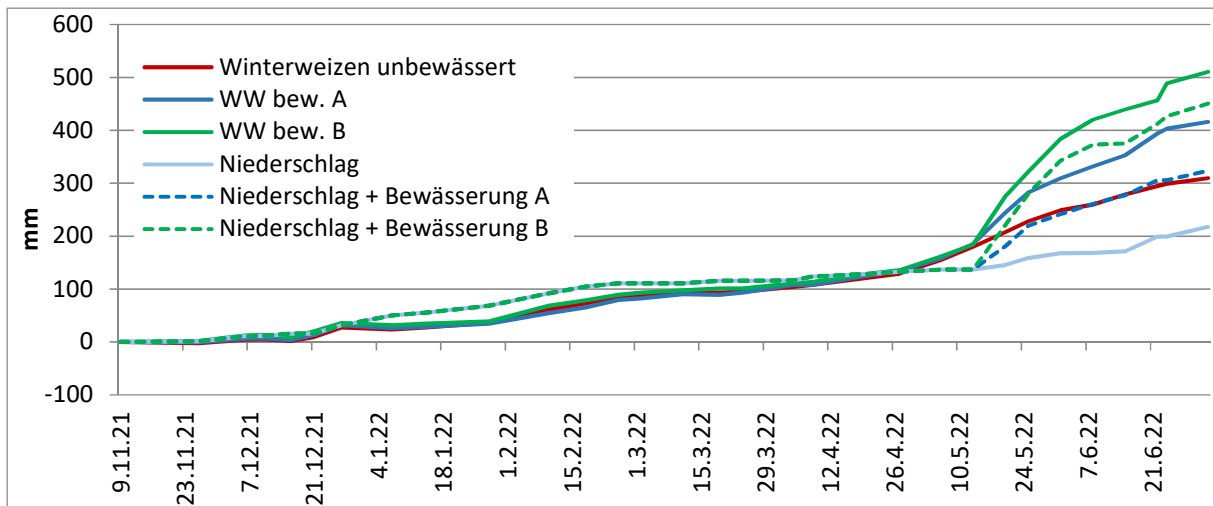


Abbildung 10: Kumulativer Wasserverbrauch im Vergleich zum Wasserangebot aus Niederschlag und Bewässerung

Der kumulative Wasserverbrauch (Abb. 10) lag in allen Varianten deutlich über den jeweils zur Verfügung stehenden Wassermengen. Einem Gesamtniederschlag von 217 mm (nach DWD-Aufzeichnung nur 177 mm) stand in der unbewässerten Variante ein Wasserverbrauch von 310 mm gegenüber. Die 106 mm Zusatzwasser in Bewässerungsvariante A fanden sich quasi 1:1 im Wasserverbrauch dieser Variante wieder (416 mm). Die 233 mm Zusatzwasser in Bewässerungsvariante B steigerte den Wasserverbrauch gegenüber der Kontrolle um 200 mm auf 510 mm. Da die letzten 2 Wochen vor Ernte kein Zusatzwassermehr gegeben wurde, dürften mögliche Fehler durch ungleichmäßige Querverteilung in der Gesamtbetrachtung gering sein.

Die Abbildungen 11-13 zeigen den Verlauf in unterschiedlichen Bodentiefen. Besonders deutlich ist der Effekt der Bewässerung im Unterboden zu sehen. Insbesondere im direkt durch die Tropfschläuche beeinflussten Bereich von 30-60 cm Bodentiefe, wo in Bewässerungsvariante B bis fast zur Ernte um 50 % nFK zur Verfügung standen. Bei reduzierter Bewässerung (A) lagen die Werte Mitte Mai bis Mitte Juni um 35 % nFK und sanken zur Ernte weiter ab.

In der untersten Bodenschicht war nahezu nur in der hohen Bewässerungsvariante B ein deutlich höherer Wassergehalt in der Kornfüllungsphase zu sehen. Das macht auch deutlich, dass bei größeren Wassergaben durch die unterirdischen Tropfschläuche auch eine beträchtliche Wasserbewegung nach unten erfolgt.

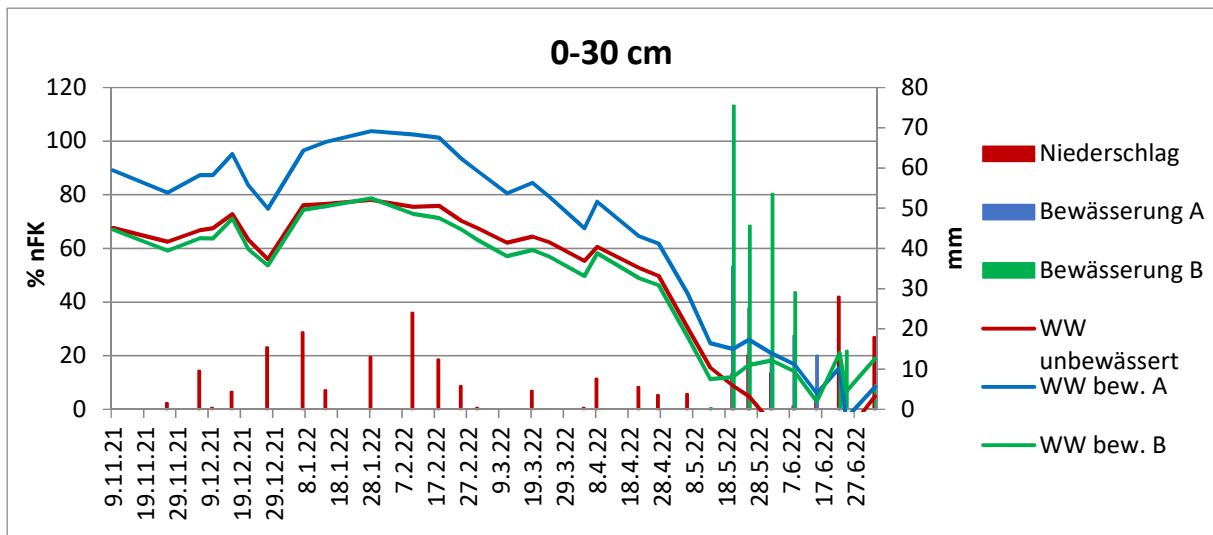


Abbildung 11: % nFK in 0-30 cm Tiefe

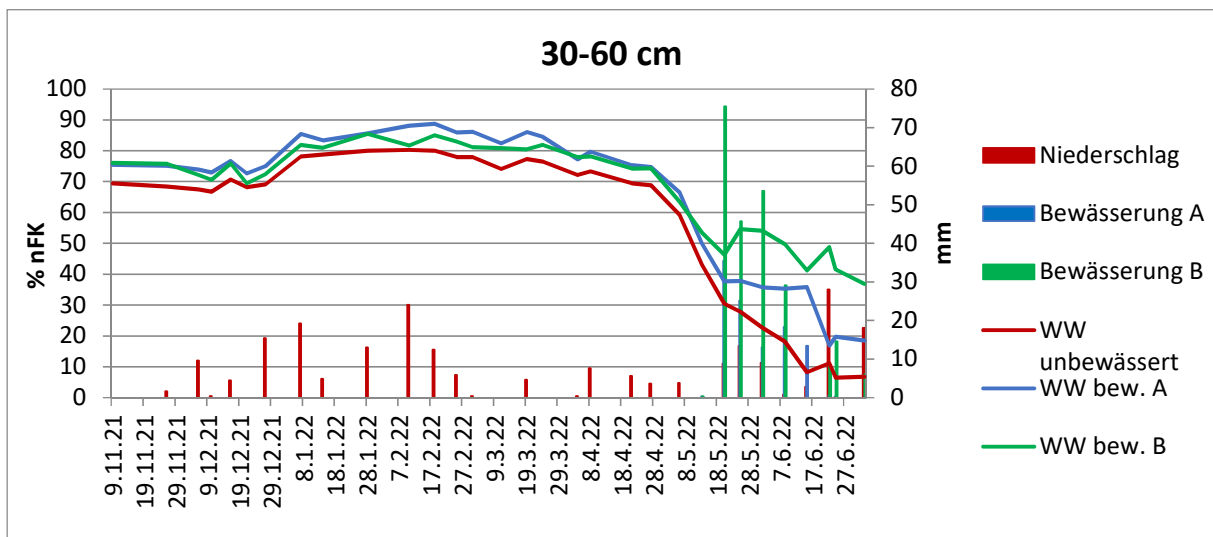


Abbildung 12: % nFK in 30-60 cm Tiefe

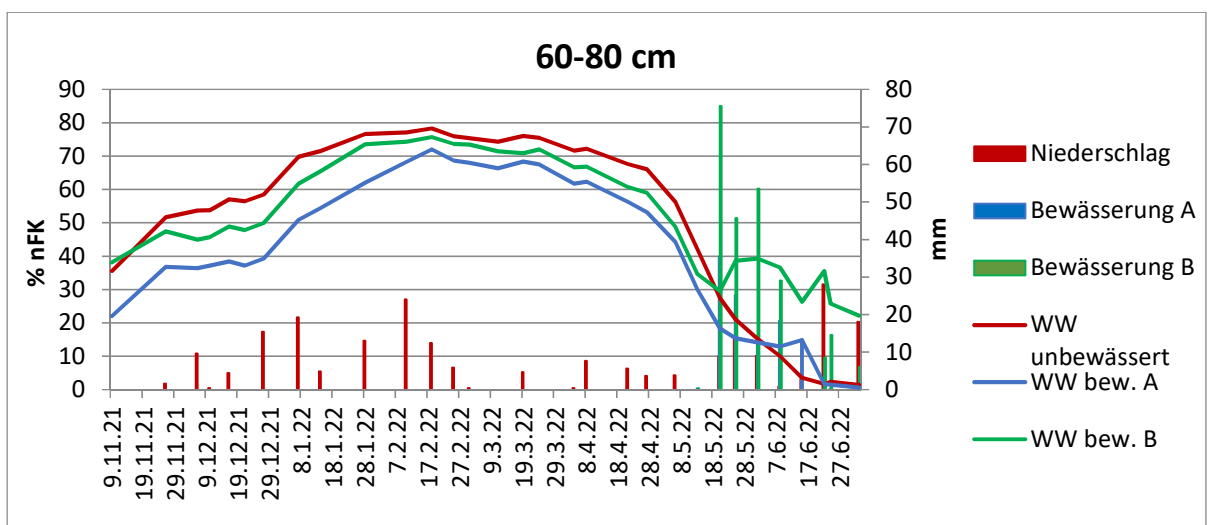


Abbildung 13: % nFK in 60-80 cm Tiefe

Ertrag und Wassernutzungseffizienz im Winterweizen:

Die Ernte erfolgte am 14.07.2022. Ohne Bewässerung wurde mit 61,5 dt/ha ein für den Standort unterdurchschnittlicher Ertrag erreicht. Bereits die reduzierte Bewässerung steigerte den Ertrag um 44 % auf 88,9 dt/ha. Die weit höhere modellgestützte Wasserzufuhr erreichte mit 51 % Mehrertrag (93,1 dt/ha) gemessen an dem enormen Mehraufwand nur wenig bessere Ergebnisse (Tab. 3).

Bei Beurteilung von Wasserverbrauch und Wassernutzungseffizienz ergeben sich Unsicherheiten hinsichtlich der korrekten Niederschlags erfassung. Mit den Daten der Wetterstation am Versuch erhöhte sich der Wasserverbrauch in Variante A um 34, in Variante B um 65 %. Werden die niedrigeren Werte des DWD zugrunde gelegt (blaue Werte in Tab. 3), lag die Steigerung sogar bei 39 bzw. 74 %. Damit war die Wassernutzungseffizienz bezogen auf den Kornertrag bei reduzierter Bewässerung in jedem Fall höher als in der unbewässerten Kontrolle (8 bzw. 4 %), während sie durch den hohen Wasserverbrauch in Variante B deutlich abfiel. Je dt Mehrertrag wurden in Variante A nur 3,9 mm Zusatzwasser eingesetzt, in Variante B dagegen 7,4 mm.

Ähnlich wie in den Versuchsjahren 2018-2020 zeigte sich mit zunehmender Bewässerung und steigenden Erträgen ein Verdünnungseffekt im Rohproteingehalt (Tab. 4). Dieser sank in Variante A um 13, in Variante B um 15 %. Allerdings hat selbst die unbewässerte Variante trotz des niedrigen Ertrages den Zielwert für Qualitätsstufe A weit verfehlt und nicht einmal die für die Vermarktung als Brotweizen nötigen 12 % RP erreicht. Von daher ergibt sich kein Nachteil in der Vermarktung des bewässerten Weizens. Auffällig ist jedoch, dass der Sedimentationswert noch weit stärker abgefallen ist als der Rohproteingehalt (28 bzw. 30%). Auf der anderen Seite ist durch die Bewässerung aber eine wesentlich bessere Kornausprägung erreicht worden, die sich durch eine Steigerung der Hektolitergewichte um 8 bzw. 9% zeigt, noch stärker in den um 30-34 % höheren Tausendkorngewichten (Tab. 4).

Da der Ertragsanstieg deutlich höher war als der Abfall im Rohproteingehalt, erhöhte sich in der Summe der Stickstoffentzug von nur 109 kg N / ha unbewässert auf 136 kg in Variante A bzw. 140 kg in Variante B.

Tabelle 1: Ertrag und Wassernutzungseffizienz Winterweizen

| | unbewässert | | bewässert A | | bewässert B | | bew A / unbew. | bew B / unbew. |
|---|-------------|-----|-------------|-----|-------------|-----|----------------|----------------|
| | MW | s | MW | s | MW | s | [%] | [%] |
| Zusatzwasser | | | 106 | | 233 | | | |
| Wasserverbrauch (l/m ²) | 310 | 15 | 416 | 30 | 510 | 21 | 134 | 165 |
| nach DWD | 270 | 15 | 376 | 30 | 470 | 21 | 139 | 174 |
| Kornertrag (dt) | 61,5 | 1,4 | 88,9 | 8,7 | 93,1 | 3,7 | 144 | 151 |
| WnE Korn(kg ha ⁻¹ mm ⁻¹) | 19,9 | 1,1 | 21,5 | 3,7 | 18,3 | 1,5 | 108 | 92 |
| nach DWD | 22,9 | 1,4 | 23,8 | 4,2 | 19,8 | 1,7 | 104 | 87 |

Tabelle 2: Qualitätsparameter und N-Entzug in Abhängigkeit von der Bewässerung

| | unbewässert | | bewässert A | | bewässert B | | bew A / unbew. | bew B / unbew. |
|----------------------|-------------|------|-------------|------|-------------|------|----------------|----------------|
| | MW | s | MW | s | MW | s | [%] | [%] |
| RP (% TS) | 11,73 | 0,17 | 10,15 | 0,21 | 9,95 | 0,07 | 87 | 85 |
| Sedi | 39,05 | 1,48 | 28,05 | 1,06 | 27,15 | 2,05 | 72 | 70 |
| HL-Gewicht (kg/hl) | 71,85 | 0,35 | 77,50 | 0,00 | 78,20 | 0,00 | 108 | 109 |
| TKG (g) | 40,70 | 1,77 | 53,10 | 1,08 | 54,51 | 0,12 | 130 | 134 |
| N-Entzug (kg N / ha) | 109 | | 136 | | 140 | | 125 | 128 |

Gesamtauswertung über den Projektzeitraum

Tabelle 5 zeigt Witterungsdaten im Versuchszeitraum. Auffällig ist, dass die Jahresdurchschnittstemperaturen mit Ausnahme des Anbaujahrs 2021/21 in allen Jahren mehr als 1 K über dem langjährigen Mittel lagen. Die höchste Durchschnittstemperatur wurde 2018/19 mit 11,3 °C gemessen. Gleichzeitig lagen die Jahresniederschläge in drei von fünf Jahren deutlich unter dem langjährigen Mittel. Das letzte Versuchsjahr 2021/22 wies mit nur 339 mm Jahresniederschlag das extremste Niederschlagsdefizit auf. Derart geringe Niederschlagsmengen wurden seit Beginn der Wetteraufzeichnungen am Standort lediglich in den Jahren 1975/76 (291 mm), 1972/73 (328 mm) und 1962/63 (317 mm) gemessen. Dabei muss aber berücksichtigt werden, dass die Jahresdurchschnittstemperatur in diesen Jahren bei lediglich 9,7 °C, 9,1 °C und 1962/63 sogar nur bei 7,3 °C lag. Der Verdunstungsanspruch der Atmosphäre ist bei 11,2 °C erheblich höher. Einfluss darauf haben ebenfalls die Sonneneinstrahlung und die relative Luftfeuchtigkeit. Mit Ausnahme des Jahrs 2020/21 wurde 12-15 % mehr Sonnenstunden gemessen als im langjährigen Mittel. Gleichzeitig war die relative Luftfeuchtigkeit in diesen Jahren deutlich reduziert (Tab. 5).

Die Aufzeichnungen zeigen, dass die klimatische Erwärmung am Standort bereits deutlich zu spüren ist. Immer häufiger treten erhebliche Niederschlagsdefizite in der Hauptvegetationsperiode auf. Setzt sich dieser Trend fort, ist die Wirtschaftlichkeit von Bewässerungsmaßnahmen neu zu bewerten (vgl. Meinert et al. 2022). Bisher ist diese vor allem auf leichten Böden mit geringem Wasserspeichervermögen gegeben. Treten aber wiederholt Trockenjahre nacheinander auf und werden die Bodenwasserspeicher über Winter nur unzureichend gefüllt, führt das Wasserdefizit auch auf Böden mit hoher nutzbarer Feldkapazität zu erheblichen Ertragseinbußen. Problematisch ist dabei jedoch, dass mit zunehmenden Trockenperioden auch Grundwasserstände sinken und Oberflächengewässer nicht genügend Wasser führen. Die hohen Investitionen in wassersparende Tropfbewässerungssysteme können vor diesem Hintergrund an Berechtigung gewinnen.

Weizen zählte in der Vergangenheit allgemein nicht zu den bewässerungswürdigen Kulturen, obwohl in Bewässerungsversuchen auf leichten Standorten durchaus Ertragssteigerungen von 27 bis mehr als 40 % erzielt wurden (de Witte 2018, Riedel und Fricke 2020, Fricke 2020, Bockholt 2021). Trotzdem wurden die Mehrkosten der Bewässerung im Gegensatz zu Kartoffeln und Sonderkulturen häufig nicht gedeckt. Mit Verschiebungen des Preisniveaus kann sich die Bewertung jedoch ändern (Gödecke 2022).

Auffällig ist, dass in den Trockenjahren trotz der hohen nFK des Bodens (240 mm in 0-1 m Bodentiefe) am Versuchsstandort Bernburg ähnliche Ertragssteigerungen erreicht wurden wie in den zitierten Versuchen, die alle auf deutlich sandigeren Böden durchgeführt wurden (Tab. 6). 2018 konnte erst ab Juni bewässert werden, sonst wären sicher größere Effekte erreichbar gewesen. Selbst in Jahren mit durchschnittlichen Niederschlägen wurden noch 13-15 % Mehrertrag erreicht.

Tabelle 3: Witterung im Projektzeitraum (jeweils Wirtschaftsjahr September-August des Folgejahrs) im Vergleich zum langjährigen Mittel (DWD, Wetterstation Bernburg / Strenzfeld)

| | Mittel 1991-2020 | 2017-2018 | 2018-2019 | 2019-2020 | 2020-2021 | 2021-2022 |
|--|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Jahresdurchschnittstemperatur (°C) | 10,1 | 11,3 (+1,2) | 11,4 (+1,3) | 11,3 (+1,2) | 10,1 (±0) | 11,2 (+1,1) |
| Jahresniederschlag (mm) | 514 | 405 (79 %) | 385 (75 %) | 531 (103 %) | 508 (99 %) | 339 (66 %) |
| Sonnenstunden | 1765 | 2031 (115 %) | 1985 (112 %) | 1984 (112 %) | 1673 (95 %) | 1996 (113 %) |
| Durchschnittliche Luftfeuchtigkeit (%) | 75,9 | 73,3 (96 %) | 70,3 (93 %) | 71,3 (94 %) | 76,3 (100 %) | 72,6 (96 %) |

Tabelle 4: Einfluss der Bewässerung auf Ertrag, Qualität und Wassernutzung bei Winterweizen im Projektzeitraum

| | 2018 | | 2019 | | 2020 | | 2021 | | 2022 | | |
|---|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
| | unbewässert | bewässert | unbewässert | bewässert | unbewässert | bewässert | unbewässert | bewässert | unbewässert | bewässert A | bewässert B |
| Zusatzwasser (mm) | | 80,4 | | 115,8 | | 77,7 | | 44,7 | | 94,5 | 212,6 |
| Kornertrag (dt) | 57,0 | 70,0 (123 %) | 64,0 | 87,9 (137 %) | 72,6 | 81,7 (113 %) | 83,5 | 95,6 (115 %) | 61,5 | 88,9 (145 %) | 93,1 (151 %) |
| Rohproteingehalt | 15,4 | 13,2 | 12,7 | 10,8 | 13,5 | 13,1 | 11,4 | 11,6 | 11,7 | 10,2 | 10,0 |
| Qualitätsstufe | A | A | B | C | A | A | C | C | C | C | C |
| Wasserverbrauch (l/m ²)* | 239,1 | 313,6 | 244,9 | 355,9 | 305,9 | 356,0 | 225,9 | 240,1 | 269,7 | 375,8 | 470,3 |
| WnE Korn* (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹) | 23,8 | 22,3 | 26,1 | 24,7 | 23,7 | 23,0 | 37,0 | 39,8 | 22,9 | 23,8 | 19,8 |

*blau: wegen Messfehlern der Wetterstation am Versuch nach Niederschlagswerten der DLG kalkuliert

Optimierungsbedarf gibt es jedoch noch hinsichtlich der Frage, ab wann auf einem Boden mit hoher nFK Bewässerung einsetzen sollte. Eine optimale Bewässerung sollte 50% der nFK im Boden halten, eine reduzierte oder Defizit-Bewässerung 30 % nFK (de Witte 2020). Müller et al. (2020) empfehlen eine Bewässerung von Weizen in der Schossphase ab 35 % nFK. Vergleicht man diese Empfehlungen mit den gemessenen Bodenfeuchten des Gesamtprofils im Versuch, entspricht die hohe modellgestützte Bewässerung in Variante B lediglich der empfohlenen Defizitbewässerung (Abb. 5). Die dabei eingesetzten Zusatzwassermengen sind aber weder ökonomisch noch ökologisch vertretbar. In der reduzierten Bewässerungsvariante A ging die Bodenfeuchte auf deutlich unter 30 % nFK zurück.

Eine Schwierigkeit ergibt sich aus der ungleichmäßigen und langsamen Querverteilung des Wassers bei unterirdischer Tropfbewässerung. Um Fehler in der Berechnung der notwendigen Wasserzufuhr zu vermeiden, müssten Messpunkte jährlich in exakt definiertem (engen) Abstand von den Tropfschläuchen und einem Tropfer gesetzt werden. Des Weiteren müsste es möglich sein, die Verteilung des zugeführten Wassers präzise zu modellieren. Eine Platzierung exakt zwischen zwei Tropfschläuche hilft zwar Beschädigungen der Anlage zu vermeiden, unterschätzt aber die Bodenfeuchte für große Teile der Fläche. Neben der Querverteilung ist auch die vertikale Verteilung anders als bei oberflächlicher Beregnung. Die Feuchtigkeit der Krume ist durch die unterirdische Tropfbewässerung kaum zu beeinflussen. Trotzdem gehen auch diese Werte in die Bewertung des Gesamtprofils mit ein. Standortbedingt traten in Bernburg in den untersten Bodenschichten Heterogenitäten mit teils niedrigeren Werten auf. Es wäre daher empfehlenswert, für die Modellierung nur den Bereich heranzuziehen, der durch die Wasserzufuhr auch direkt beeinflusst werden kann, auf dem Versuchsschlag wären das 20-60 cm Bodentiefe. In diesem Bereich lagen die Bodenfeuchten während der Bewässerungsperiode in Variante A durchaus im Bereich der empfohlenen Defizitbewässerung und in Variante B im Bereich optimaler Wasserzufuhr.

Des Weiteren ist zu beachten, dass hinter einer relativen Größe je nach absoluter nFK des Standortes ganz unterschiedliche absolute Wassermengen stehen. Bei einer nFK von 13 Vol% auf einem Sandstandort stehen den Pflanzen bei 30 % nFK lediglich 39 l Wasser je m² bis 1 m Tiefe zur Verfügung, auf einer Schwarzerde mit 24 Vol% nFK dagegen 72 l. Selbst bei 20 % nFK sind hier noch 48 l Wasser für die Pflanzen nutzbar. Dieses Potenzial sollte im Sinn eines sparsamen Ressourceneinsatzes möglichst ausgenutzt werden. Bei sparsamer Wasserzufuhr lässt sich die Wassernutzungseffizienz des Weizens gegenüber der unbewässerten Kontrolle durchaus steigern, bei zu hoher Wasserzufuhr geht sie jedoch zurück (Tab. 6).

Als Problem speziell der unterirdischen Tropfbewässerung hat sich das Erreichen der angestrebten Proteingehalte gezeigt. Zum einen ist das höhere Ertragsniveau unter Bewässerung bei der Bemessung der N-Düngung zu berücksichtigen. Treten aber nach den Düngungsterminen lange niederschlagsfreie Perioden auf, wird der Stickstoff nicht für die Pflanzen verfügbar. Dies lässt sich bei oberflächlicher Düngerapplikation durch eine Wasserzufuhr in über 30 cm Tiefe nicht verbessern. Sinnvoll wäre hier eine geschickte Kombination aus oberflächlicher Düngung bei noch geringer Wurzeltiefe zu Vegetationsbeginn und Fertigation in der Schossphase. Dies wurde im Projektzeitraum nicht geprüft. Ergebnisse vorangegangener Versuchsjahre (IPZ 2017) zeigten mit der vorhandenen

Anlage aber einerseits einen erheblichen Zusatzwasserbedarf, um ausreichende Nährstoffmengen auszubringen, sowie erhebliche Probleme in der Querverteilung, was auf die starke Bindung von Ammonium im Boden zurückgeführt wurde. Da die biologische Aktivität in tieferen Bodenschichten gerade bei dauerhaft nicht wendender Bodenbearbeitung gering ist, dürfte eine Nitrifikation stark verzögert sein. Eine nitratbetonte Düngung könnte die Verteilung gegebenenfalls verbessern. Allerdings bliebe zu prüfen, ob durch erhöhte Bodenfeuchten in Tropfernähe Denitrifikation gefördert wird und damit höhere Lachgasverluste auftreten.

In Tab. 7 wurde aus N-Düngung und N-Entzug mit der Ernte die N-Bilanz berechnet. Ab dem zweiten Versuchsjahr ergaben sich bedingt durch unterschiedliche N_{\min} -Gehalte und Ertragserwartungen unterschiedliche Düngermengen. Nicht immer fand sich die höhere Düngung analog im Entzug wieder. Besonders 2019 und 2020 machte sich die reduzierte N-Fixierung der Soja im Vorjahr unter Bewässerung bemerkbar. Ohne dieses Problem wurden 2021 und 2022 tendenziell niedrigere N-Bilanzen in den Bewässerungsvarianten erreicht. Bei richtiger Bemessung sind somit positive Effekte der Bewässerung auf die N-Verwertung möglich.

Tabelle 5: N-Bilanzen im Versuchszeitraum (Standort Bernburg-Strenzfeld)

| Jahr | kg N/ha | Unbewässert | Bewässert | | Bew.-unbew |
|--------|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 2018 | N-Düngung | 148,5 | 148,5 | | -7,0 |
| | N-Entzug | 132,4 | 139,4 | | |
| | N-Bilanz | 16,2 | 9,2 | | |
| 2019 | N-Düngung | 129,6 | 189,5 | | 39,4 |
| | N-Entzug | 122,5 | 143,0 | | |
| | N-Bilanz | 7,1 | 46,5 | | |
| 2020 | N-Düngung | 111,4 | 161,4 | | 36,0 |
| | N-Entzug | 147,9 | 162,0 | | |
| | N-Bilanz | -36,6 | -0,6 | | |
| 2021 | N-Düngung | 109,9 | 130,0 | | -3,3 |
| | N-Entzug | 143,3 | 166,7 | | |
| | N-Bilanz | -33,4 | -36,7 | | |
| 2022 | N-Düngung | 109,5 | 129,7 | 129,7 | -7,1 / -10,8 |
| | N-Entzug | 108,8 | 136,1 | 139,8 | |
| | N-Bilanz | 0,6 | -6,4 | -10,1 | |
| Mittel | | -9,2 | 0,3 | | 11,6 |

Müller und Ebertseder (2020) geben auf Lehm Böden einen Durchfeuchtungsdurchmesser von 40 cm bei Tropfbewässerung an. Das Maximum der horizontalen Verteilung wird erst deutlich unterhalb des Tropfers erreicht. Die Tropfschläuche der Versuchsanlage liegen in ca. 30 cm Bodentiefe 1 m auseinander, der Tropferabstand beträgt 50 cm. Diese Abstände erscheinen deutlich zu hoch um in einer Flächenkultur eine gleichmäßige horizontale Wasser- und damit

auch Nährstoffverteilung über Fertigation zu erreichen. Je geringer der Abstand zwischen den Schläuchen ist, umso teurer wird aber der Investitionsbedarf für eine solche Anlage.

Wirtschaftliche Bewertung

Die Wirtschaftlichkeit der Bewässerung wird mit der bewässerungskostenfreien Mehrleistung bestimmt. Dazu wird die Mehrleistung durch die Bewässerung aus dem Mehrertrag und dem Erzeugerpreis für den jeweiligen Ertrag und die erzielte Qualität bestimmt. Davon werden die Kosten der Bewässerung sowie die mehrertragsbedingten Kosten abgezogen.

Im Versuch schwankten die Mehrerträge durch Bewässerung zwischen 9,1 dt/ha (2020) und 31,6 dt/ha (2022 in der Variante B). Da sich die Qualitätseinstufung außer 2019 durch die Bewässerung nicht geändert hat, wurde der gleiche Erzeugerpreis für die bewässerten und nicht bewässerten Partien als Netto-Marktpreis Ende September (Quelle: Bauernzeitung) des jeweiligen Jahres verwendet. Dadurch ergibt sich eine Mehrleistung durch Bewässerung von 162,11 €/ha (2020) bis 963,52 €/ha (2022 B). Im Mittel der 6 Versuche wurde ein Mehrertrag von 19,5 dt/ha durch die installierte Bewässerungsanlage realisiert. Daraus ergibt sich eine mittlere Mehrleistung von 463,71 €/ha, wobei das Jahr 2022 mit den hohen Erzeugerpreisen durch die zwei Varianten überproportional in die Berechnung eingeht (Tab. 8).

Die Bewässerungskosten ergeben sich aus den variablen Direktkosten der Bewässerung, die mit 3 €/mm kalkuliert wurden. Das entspricht dem Kostenniveau von Niedersachsen und ist natürlich für konkrete Bewässerungsanlagen exakt zu berechnen. Bei einem Wasseraufwand von 44,7 mm (2021) bis 233,2 mm (2022 B), im Mittel 109,66 mm, ergeben sich Kosten der Bewässerung von 134,10 €/ha bis 699,52 €/ha. Weiterhin entstehen Kosten aus dem realisierten Mehrertrag. Diese ergeben sich aus einem höheren Aufwand für die Düngung (nach Entzugswerten) und für die Ernte bzw. den Erntetransport. In der Summe sind das 3,55 €/dt Mehrertrag, wobei für 2022 sicherlich höhere Werte kalkuliert werden müssten.

Nach Abzug der Kosten der Bewässerung von der Mehrleistung ergibt sich eine bewässerungskostenfreie Mehrleistung von -70,92 €/ha (2020) bis 515,31 €/ha, im Mittel von 134,72 €/ha. Damit war die Bewässerung unter den angenommenen Preisen und Kosten wirtschaftlich. Werden die Kosten des Mehrertrages einbezogen sinkt die bewässerungskostenfreie Mehrleistung auf -103,25 €/ha bis 418,25 €/ha ab. Insgesamt war die Bewässerung in zwei von fünf Jahren wirtschaftlich.

Wird die Wassermenge auf den Grenzgewinn aus der Bewässerung bezogen, können die maximalen Kosten berechnet werden, die durch die Bewässerung verursacht werden dürfen (Break-even-Point). Diese betragen 1,67 €/mm im Jahre 2020 bis 6,94 €/mm im Jahr 2022 (Variante A). Im Mittel ergeben sich 3,62 €/mm. Da die Kosten der installierten Anlage sicher höher liegen, kann eine Wirtschaftlichkeit im Mittel nicht erreicht werden, lediglich in Extremjahren wie 2022 rechnet sich die Anlage. Deutlich wird auch, dass die Begrenzung der Wasserzufuhr auf das notwendigste Maß (2022, Variante A) eine weit höhere Wirtschaftlichkeit aufwies als eine auf Erhalt einer optimalen Bodenfeuchte ausgerichtete

Wasserszufuhr (2022, Variante B) obwohl mit Defizitbewässerung nicht der biologische Höchstertag erreicht wurde.

Tabelle 6: Kosten und Erlöse unter Bewässerung in Winterweizen

| | 2018 | | 2019 | | 2020 | | 2021 | | 2022 | | | Mittelw. |
|--|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|----------------|----------------|----------|
| | Unbew. | bewässert | Unbew. | bewässert | Unbew. | bewässert | Unbew. | bewässert | Unbew. | bewässert A | bewässert B | |
| Zusatzwasser (mm) | | 80,4 | | 115,8 | | 77,7 | | 44,7 | | 106,2 | 233,2 | |
| Ertrag (dt/ha) | 57,0 | 70,0 | 64,0 | 87,9 | 72,6 | 81,7 | 83,5 | 95,6 | 61,5 | 88,9 | 93,1 | |
| Qualitätsstufe | A | A | B | C | A | A | C | C | C | C | C | |
| Mehrertrag (dt/ha) | | 13,0 | | 23,9 | | 9,1 | | 12,2 | | 27,3 | 31,6 | 19,5 |
| Erzeugerpreis (Ende September, €/dt) | 19,45 | 19,45 | 15,7 | 14,9 | 17,8 | 17,8 | 21,8 | 21,8 | 30,5 | 30,5 | 30,5 | |
| Marktleistung (€/ha) | 1108,09 | 1360,91 | 1005,42 | 1310,37 | 1292,92 | 1455,03 | 1820,14 | 2085,12 | 1876,09 | 2709,97 | 2839,61 | |
| Mehrleistung (€/ha) | | 252,82 | | 304,95 | | 162,11 | | 264,98 | | 833,88 | 963,52 | 463,71 |
| Wasserverbrauch (mm) | | 80,40 | | 115,85 | | 77,67 | | 44,70 | | 106,19 | 233,17 | 109,66 |
| Kosten der Bewässerung bei 3 €/mm (€/ha) | | 241,20 | | 347,54 | | 233,02 | | 134,10 | | 318,58 | 699,52 | 328,99 |
| Kosten des Mehrertrages bei 3,55 €/dt (€/ha) | | 46,15 | | 84,86 | | 32,33 | | 43,15 | | 97,06 | 112,15 | 69,28 |
| Bewässerungskostenfreie Mehrleistung ohne Kosten des Mehrertrages (€/ha) | | 11,62 | | -42,59 | | -70,92 | | 130,88 | | 515,31 | 264,00 | 134,72 |
| Bewässerungskostenfreie Mehrleistung mit Kosten des Mehrertrages (€/ha) | | -34,52 | | -127,45 | | -103,25 | | 87,73 | | 418,25 | 151,85 | 65,44 |
| Mehrerlös nach Abzug der mehrertragsbedingten Kosten (€/ha) | | 206,68 | | 220,09 | | 129,78 | | 221,83 | | 736,83 | 851,37 | 394,43 |
| maximale Berechnungskosten (€/mm) | | 2,57 | | 1,90 | | 1,67 | | 4,96 | | 6,94 | 3,65 | 3,62 |

Auswertung des Bewässerungsversuchs in Sojabohnen

Versuchsjahr 2021/22

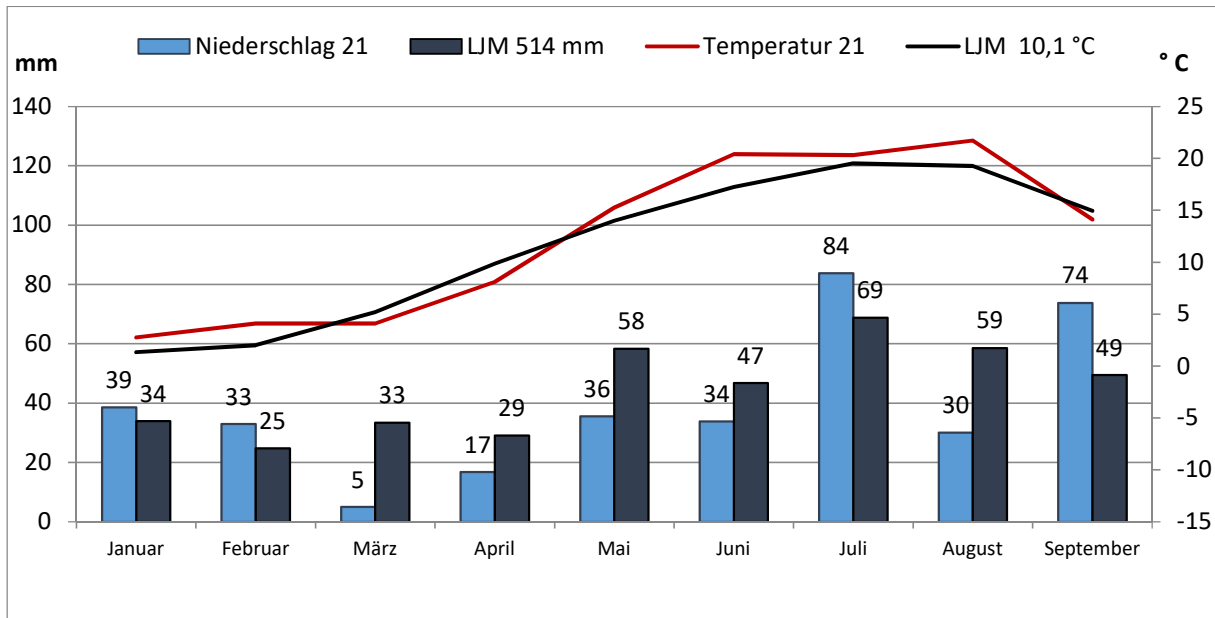


Abbildung 14: Witterung in der Vegetationsperiode 22 (Daten der Wetterstation am Versuch im Vergleich zum Mittel 1991-2020 (DWD, Station Bernburg / Strenzfeld))

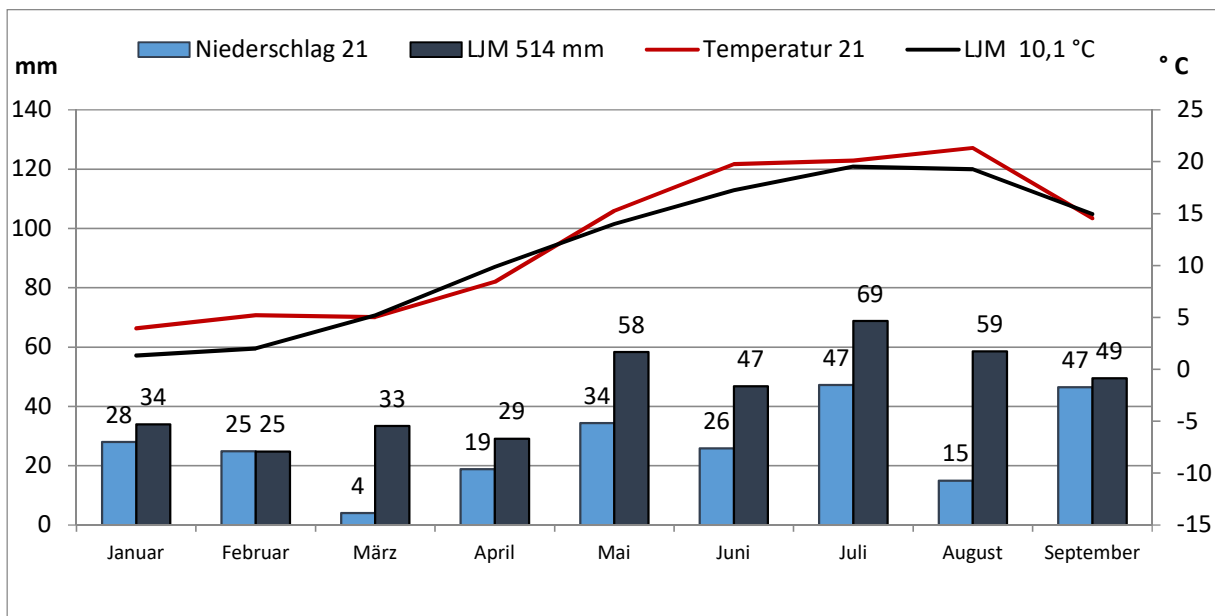


Abbildung 15: Witterung in der Vegetationsperiode 21/22 im Vergleich zum Mittel 1991-2020 (DWD, Station Bernburg / Strenzfeld))

Abb. 14 zeigt den Witterungsverlauf der aktuellen Vegetationsperiode, die von der Pessl-Wetterstation am Versuch erfasst wurde, Abb. 15 die Werte der DWD-Station.

Für die Vegetationszeit der Sojabohne haben sich noch deutlich größere Differenzen ergeben als beim Weizen, insbesondere in den Sommermonaten. Während sich der Niederschlag nach Messung der IPZ-Station von Januar-September 2022 auf 350 mm (53 mm unter dem langjährigen Mittel von 403 mm), waren es nach DWD-Messung nur 245 mm, was ein Defizit von 159 mm bedeutet. Insbesondere ab Beginn der Blüte im Juni/Juli hat sich dadurch eine erhebliche Trockenstresssituation ergeben, die über die gesamte Kornfüllungsphase anhielt.

Die Temperaturen lagen dabei ab Mai durchgehend über dem langjährigen Mittel.

In Sojabohnen wurden Mitte Mai Messpunkte gesetzt. Durch eine gute Auffüllung des Bodenwasservorrats lag der Gesamtwassergehalt in 0-80 cm Bodentiefe mit Werten um 250 mm (79-92 % nFK) zu Beginn der Messperiode sogar höher als im Vorjahr (Abb. 16+17). Ab Ende Juni gingen die Werte in der unbewässerten Variante aber drastisch zurück. Bereits in der letzten Julidekade fielen die Werte unter 30 % nFK und lagen vom 10. August bis zur Ernte bei lediglich 10% nFK. Die Bewässerungsvarianten wurden bei Soja im A Block durch die Modellierung, im B-Block manuell gesteuert. In beiden Bewässerungsvarianten reduzierte sich der Bodenwassergehalt bis 10. August auf 50 % nFK (Abb. 17). Extrem hohe Wassergaben in der modellgestützten Variante erhöhte die Werte im A-Block danach wieder auf Werte um 90 % nFK. Dies ist weder wirtschaftlich vertretbar noch physiologisch günstig. Allerdings zeigten die für die Modellierung ausgelesenen Permanentsonden mit Werten um 70% nFK etwas niedrigere Werte an. Allerdings wird nach Müller et al. (2020) in Soja erst ab 45 % nFK Bewässerung empfohlen und das auch nur bis BBCH 73. In der manuell gesteuerten Variante B wäre die Wasserzufuhr in den letzten beiden Wochen vor Ernte verzichtbar gewesen, die auch hier noch einmal zu einem Anstieg der Bodenwassergehalte führte.

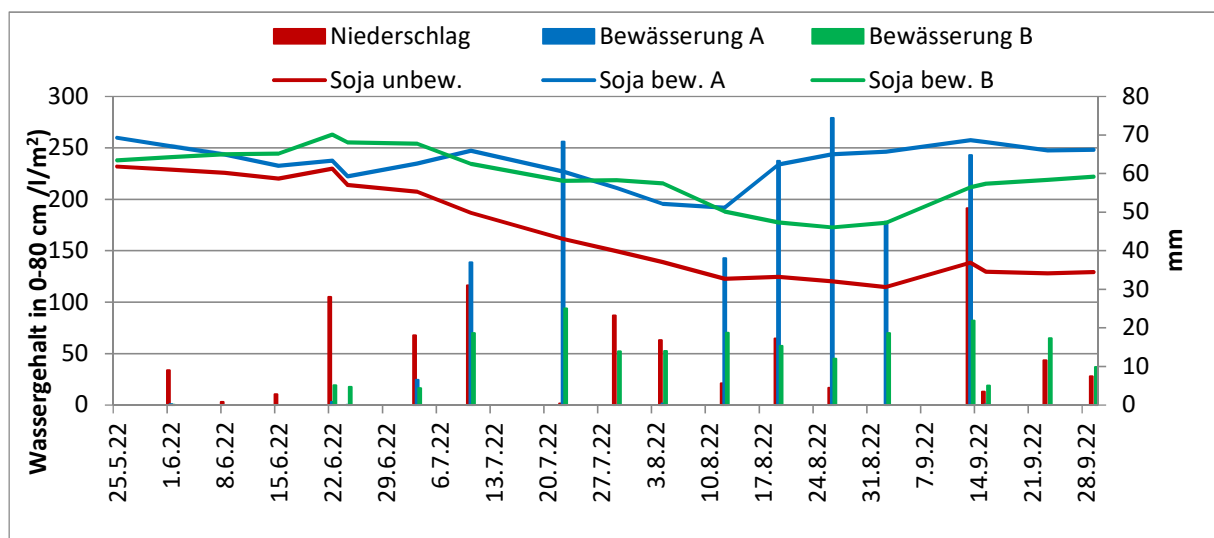


Abbildung 16: Bodenwassergehalt unter Sojabohnen in 0-80 cm, Mittel aus 4 Wiederholungen unbewässert bzw. 2 je Bewässerungsvariante

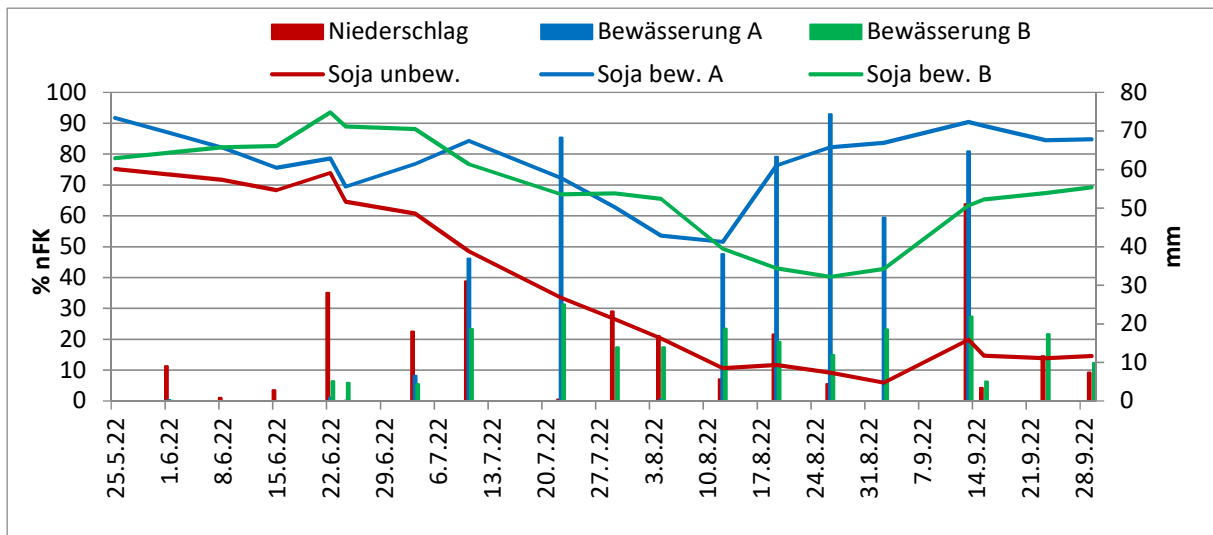


Abbildung 17: Sättigung der nutzbaren Feldkapazität, Mittel aus 4 Wiederholungen unbewässert bzw. 2 je Bewässerungsvariante

Abb. 18 zeigt einen deutlichen Anstieg des Wasserverbrauchs der Soja in der Blüte Anfang Juli bei gleichzeitig hohen Temperaturen. Durch die Erschöpfung des Bodenwasservorrats gingen die Werte in der unbewässerten Variante danach deutlich zurück. Die höheren Wassergaben in Variante A führten auch zu höheren Verbräuchen. Extrem hohe Werte dürften jedoch auch durch die ungleichmäßige Querverteilung entstanden sein, gegen Ende der Vegetationsperiode möglicherweise auch durch Versickerung.

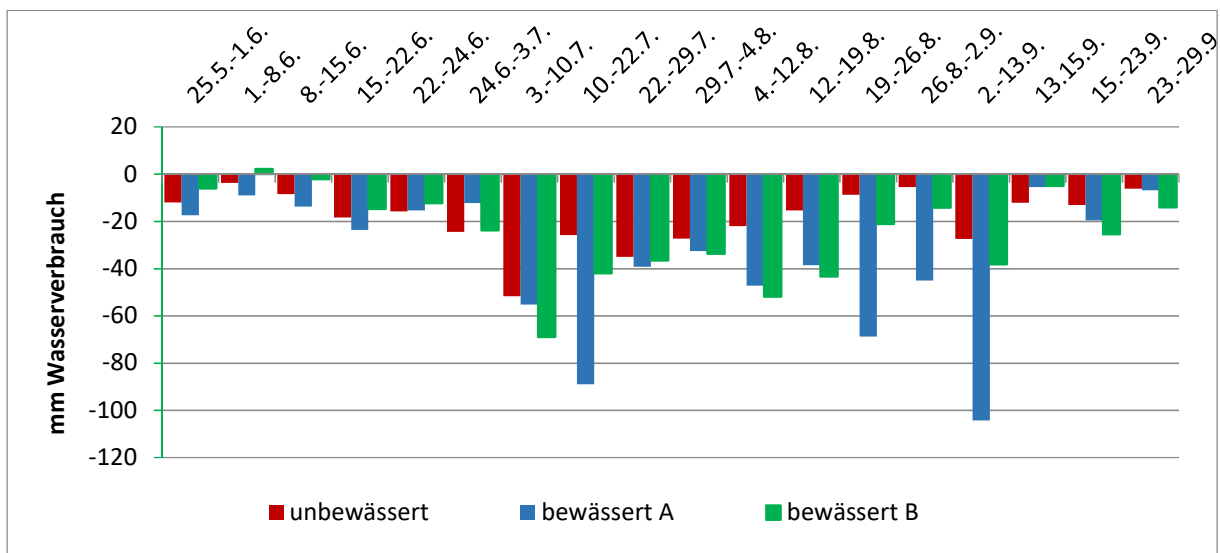


Abbildung 18: Wasserverbrauch der Sojabohnen in den einzelnen Messperioden

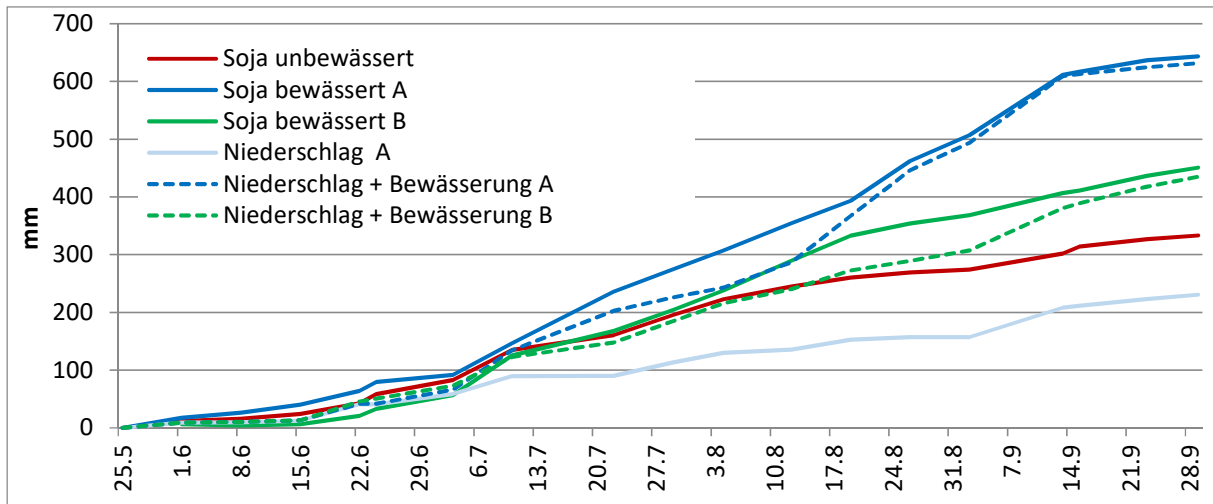


Abbildung 19: Kumulativer Wasserverbrauch im Vergleich zum Wasserangebot aus Niederschlag und Bewässerung

In der unbewässerten Variante wurden im Messzeitraum 333 mm Wasser verbraucht, 103 mm mehr als Niederschläge fielen (Abb. 19). Durch zu hohe und teils zu späte Wassergaben lag der Verbrauch in den Bewässerungsvarianten jeweils nur wenig über der in Summe aus Niederschlag und Bewässerung zur Verfügung gestellten Wassermenge (A: 643 gegenüber 632 mm; B: 451 gegenüber 435 mm). Eine mögliche Fehlerquelle ist allerdings die vermutlich zu hohe gemessene Niederschlagsmenge. Mit den Werten der DWD-Wetterstation reduzieren sich alle Werte um 88 mm.

Die Abbildungen 20-22 zeigen den Verlauf in unterschiedlichen Bodentiefen. In allen Bodentiefen zeigen sich deutliche Differenzen zwischen den Varianten. Interessant ist, dass unbewässert der Wassergehalt im Unterboden noch bis zur Ernte leichtfiel, während die Werte in der Krume durch Septemberrniederschläge wieder anstiegen. Auffällig waren extrem hohe Wassergehalte in der untersten Bodenschicht in Bewässerungsvariante A, welche Sickerwasserverluste befürchten lassen.

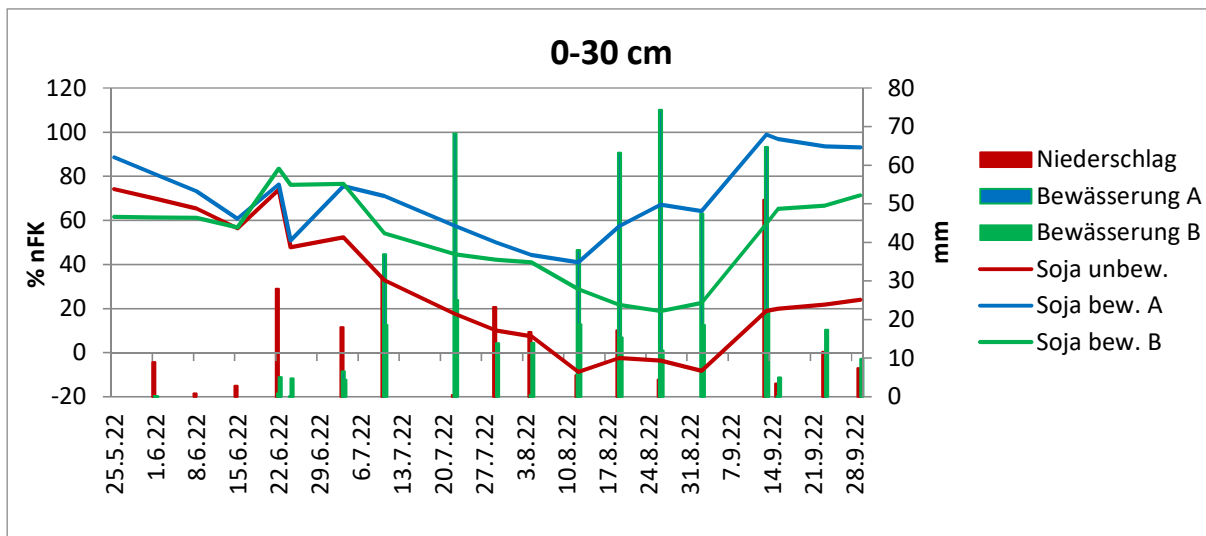


Abbildung 20: % nFK in 0-30 cm Tiefe

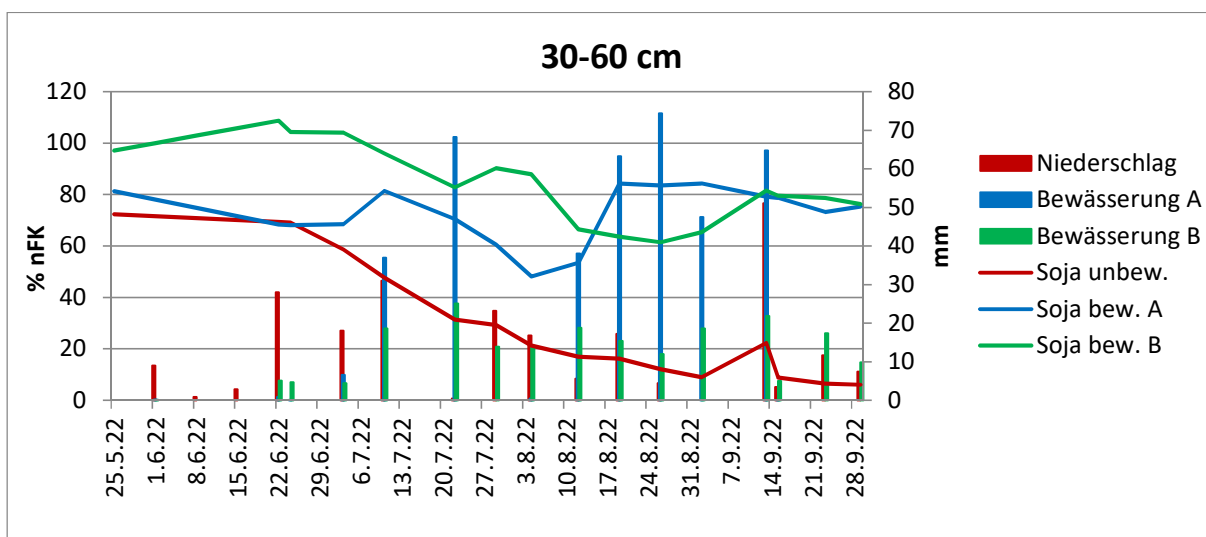


Abbildung 21: % nFK in 30-60 cm Tiefe

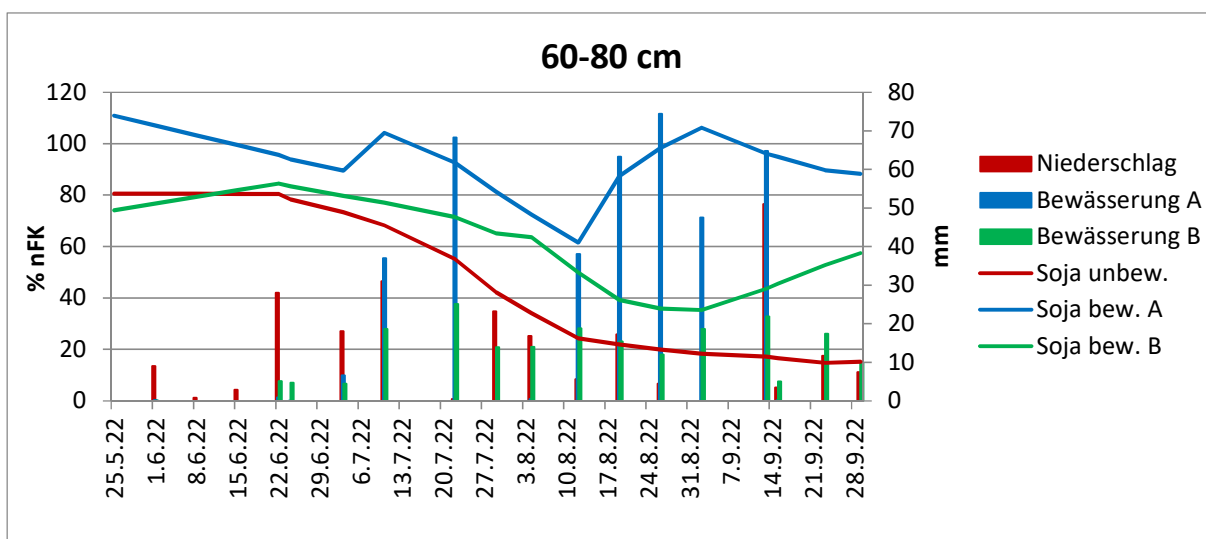


Abbildung 22: % nFK in 60-80 cm Tiefe

Ertrag und Wassernutzungseffizienz in der Soja:

Die Ernte erfolgte am 29.09.2022. Ohne Bewässerung wurde ein mit 9,1 dt/ha völlig unbefriedigender Kornertrag erzielt. Bereits vor Ernte waren die trockenheitsbedingten Defizite in der Kornausprägung deutlich sichtbar. Die reduzierte Bewässerung steigerte den Ertrag auf 316 % (28,8 dt/ha). Durch die weit höhere modellgestützte Wasserzufuhr in Block A wurden 35,3 dt/ha (387 %) geerntet (Tab. 7). Schwierigkeiten machte jedoch eine massive Spätverunkrautung in den Sojabohnen, die sowohl Ertrags- als auch Ernteverluste hervorgerufen haben dürfte. Da im B-Block auch unbewässert niedrigere Erträge erzielt wurden als im A-Block, sind die Ertragsunterschiede zwischen den beiden Bewässerungsvarianten nicht als gesichert anzusehen.

Die Niederschlagswerte der beiden Wetterstationen unterschied sich im Vegetationszeitraum der Sojabohne noch stärker als beim Weizen. Mit den Daten der Wetterstation am Versuch erhöhte sich der Wasserverbrauch in Variante B (204 mm Zusatzwasser) um 35%, mit den niedrigeren Werten der DWD-Wetterstation (blaue Werte in Tab. 9) um 48 %. In Variante A (403 mm Zusatzwasser) wurde der Wasserverbrauch im Vergleich zur Kontrolle etwa verdoppelt (193 % nach IPZ, 223 % nach DWD). Durch den extremen Ertragseffekt lag die Wassernutzungseffizienz trotz der unverhältnismäßigen Wasserzufuhr deutlich über der Kontrolle. Noch weitaus günstigere Ergebnisse erzielte jedoch die reduzierte Bewässerungsvariante. Dabei ist anhand des Verlaufs der Bodenfeuchte sogar noch ein Einsparpotenzial durch späteren Bewässerungsbeginn und ein früheres Bewässerungsende zu sehen.

Die Rohproteingehalte der Bewässerungsvarianten waren nur unwesentlich niedriger als die der Kontrolle (Tab. 7), was auf eine funktionierende Stickstofffixierung in allen Varianten deutet. Ewas geringere Werte in Bewässerungsvariante B dürften auf einen zu frühen Bewässerungsbeginn im Juni, teilweise auch auf einen havariebedingten Wassereintrag im B-Block zurückzuführen sein. Unnötig hohe Wassergaben wurden in der modellgestützten Variante A erst während der Kornfüllungsphase gegeben. Da in diesem Entwicklungsstadium die N-Fixierung bei großkörnigen Leguminosen durch die starke Wasserzufuhr der sich entwickelnden Samen ohnehin zum Erliegen kommt, wurden die Proteingehalte davon nicht negativ beeinflusst. Gegenläufig zu den Eiweißgehalten wiesen die bewässerten Varianten tendenziell höhere Ölgehalte auf. Im Vergleich zum visuellen Eindruck in der Abreifephase waren die Unterschiede in Hektolitergewicht und TKG eher gering (Tab. 10). Möglicherweise sind in der unbewässerten Variante unzureichend ausgebildete Körner bereits vor Ernte ausgefallen oder bei der Ernte verloren gegangen.

Durch die Ertragsdifferenzen bei ähnlichen RP-Gehalten verdreifachte sich der N-Entzug in Bewässerungsvariante B im Vergleich zur Kontrolle (157 im Vgl. zu 52 kg / ha). In Bewässerungsvariante A wurde mit 196 kg N ein 3,77-facher N-Entzug erzielt.

Tabelle 7: Ertrag und Wassernutzungseffizienz Sojabohnen

| | unbewässert | | bewässert A | | bewässert B | | bew A / unbew. | bew B / unbew. |
|---|-------------|-----|-------------|-----|-------------|-----|----------------|----------------|
| | MW | s | MW | s | MW | s | [%] | [%] |
| Zusatzwasser | | | 401,1 | 0,8 | 204,3 | 0,3 | | |
| Wasserverbrauch (l/m ²) | 333 | 16 | 643 | 7 | 451 | 15 | 193 | 135 |
| nach DWD | 246 | 16 | 556 | 7 | 363 | 15 | 226 | 148 |
| Kornertrag (dt) | 9,1 | 2,1 | 35,3 | 0,2 | 28,8 | 0,6 | 387 | 316 |
| WnE Korn(kg ha ⁻¹ mm ⁻¹) | 2,7 | 0,6 | 5,5 | 0,1 | 6,4 | 0,1 | 201 | 234 |
| nach DWD | 3,7 | 0,8 | 6,4 | 0,1 | 7,9 | 0,2 | 171 | 214 |

Tabelle 8: Qualitätsparameter und N-Entzug in Abhängigkeit von der Bewässerung

| | unbewässert | | bewässert A | | bewässert B | | bew A / unbew. | bew B / unbew. |
|----------------------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|----------------|----------------|
| | MW | s | MW | s | MW | s | [%] | [%] |
| RP (% TS) | 41,55 | 0,97 | 40,45 | 0,35 | 39,60 | 1,84 | 97 | 95 |
| Ölgehalt (% TS) | 19,08 | 0,59 | 19,20 | 0,14 | 19,75 | 0,64 | 101 | 104 |
| HL-Gewicht (kg/hl) | 67,10 | 2,07 | 68,70 | 0,71 | 67,20 | 0,14 | 102 | 100 |
| TKG (g) | 157,85 | 18,28 | 187,35 | 13,22 | 170,90 | 17,96 | 119 | 108 |
| N-Entzug (kg N / ha) | 52,17 | | 196,49 | | 157,14 | | 377 | 301 |

Gesamtauswertung über den Projektzeitraum

Tabelle 11 zeigt Witterungsdaten im Versuchszeitraum jeweils für die Monate April bis September. Mit 18,2 °C fällt der Hitzesommer 2018 besonders auf. In den anderen Versuchsjahren war die Temperaturdifferenz zum 30-jährigen Mittel geringer als beim Winterweizen. Dafür war das Wasserdefizit über die Sommermonate deutlich größer. In vier von fünf Jahren war zudem die Einstrahlung deutlich höher und die durchschnittliche Luftfeuchtigkeit niedriger als im langjährigen Mittel. Dazu kommt, dass der Bodenwasservorrat unter Soja nicht bis auf 0 % nFK abgesenkt wurde. Das Wasseraneignungsvermögen der Soja ist offenbar geringer als das des Weizens.

Die hohen Ertragszuwächse in den Trockenjahren bestätigen die Bewässerungswürdigkeit der Soja, ähnliche Erfahrungen liegen aus dem LTZ Augustenberg (Butz 2016) vor. Ein Bewässerungsbeginn ab 45 % nFK (Butz 2016, Müller et al. 2020) erscheint zumindest in der Hauptbedarfszeit sinnvoll. Wie beim Weizen erschwerte jedoch die ungleichmäßige Wasserverteilung im Boden eine exakte Bemessung. Insbesondere bis zur Blüte sind zu hohe Bodenfeuchten zu vermeiden, um die N-Fixierung nicht zu beeinträchtigen.

In den meisten Jahren war die eingesetzte Wassermenge aus ökonomischer und ökologischer Sicht deutlich zu hoch (Tab. 12). Der Vergleich von manuell und modellgesteuerter Bewässerung 2022 zeigt hier noch deutliche Potenziale zur Ressourcenoptimierung, wobei auch die manuell gesteuerte Variante noch hätte reduziert werden können. Das Ziel, dies über die modellgesteuerte Wasserzufuhr zu garantieren, wurde im Projektzeitraum nicht erreicht.

Für den Sojaanbau erschwerend war der extrem hohe Unkrautdruck, der sicher durch den (praxisunüblich) engen Fruchtwechsel begünstigt wurde. Bei der herbizidempfindlichen Soja liegt der Schwerpunkt der Bekämpfung bei bodenwirksamen Herbiziden im Voraufbau. Hier haben Trockenperioden in mehreren Jahren die Wirksamkeit reduziert, was auch durch die Unterflurbewässerung nicht verbessert werden kann.

Wirtschaftliche Bewertung

Durch die Bewässerungsmaßnahmen wurde ein Mehrertrag von 3,8 bis 26,2 dt/ha erzielt. Wenn davon ausgegangen wird, dass die Bewässerung keinen Einfluss auf die Qualität der geernteten Sojabohnen hat, kann durch die Multiplikation des Mehrertrages mit dem mittleren Erzeugerpreis (Quelle: LfL Bayern; <https://www.stmelf.bayern.de/idb/sojabohne.html>, besucht am 25.10.2022) die bewässerungsbedingte Mehrleistung ermittelt werden (Tab. 13).

Durch den starken Anstieg der Erzeugerpreise von 33,27 €/dt (2018) auf 63,04 €/dt (2022) erhöht sich die bewässerungsbedingte Mehrleistung sehr stark und erreicht 2022 in Variante A den Wert von 1.650,15 €/ha. Dadurch wird ab 2020 trotz des sehr hohen Wassereinsatzes von bis zu 401 l/m² eine positive bewässerungskostenfreie Mehrleistung erzielt. Deutlich wird aber auch, dass die reduzierte Bewässerung (Variante B in 2022) trotz geringerer Mehrerträge eine deutlich bessere Wirtschaftlichkeit aufweist.

Die Kosten des Mehrertrages betragen bei Sojabohnen lediglich 2,08 €/dt, da keine Stickstoffdüngung notwendig ist, so dass neben den erhöhten Arbeitserledigungskosten von pauschal 0,50 €/dt lediglich der Düngbedarf mit Phosphor und Kalium berücksichtigt werden muss.

Ebenso bewirken die hohen Erzeugerpreise, dass die maximalen Bewässerungskosten auf bis zu 9,22 €/mm ansteigen können (im Mittel: 5,44 €/mm), so dass auch die relative teure Bewässerung mit unterirdischen Tropfschläuchen wirtschaftlich sein kann. Das muss natürlich in jedem Bewässerungsprojekt mit den tatsächlichen Werten berechnet werden.

Tabelle 9: Witterung während der Vegetationsperiode im Projektzeitraum (jeweils April-September) im Vergleich zum langjährigen Mittel (DWD, Wetterstation Bernburg / Strenzfeld)

| | Mittel 1991-2020 | 2018 | | 2019 | | 2020 | | 2021 | | 2022 | |
|--|------------------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|
| Durchschnittstemperatur (°C) | 15,8 | 18,2 | (+2,4) | 16,7 | (+0,9) | 16,4 | (+0,6) | 15,4 | (-0,4) | 16,6 | (+0,8) |
| Summe Niederschlag (mm) | 311 | 208 | (67 %) | 232 | (75 %) | 275 | (88 %) | 347 | (111 %) | 191 | (61 %) |
| Sonnenstunden | 1267 | 1592 | (126 %) | 1406 | (111 %) | 1439 | (114 %) | 1140 | (90 %) | 1434 | (113 %) |
| Durchschnittliche Luftfeuchtigkeit (%) | 69,6 | 60,7 | (87 %) | 62,8 | (90 %) | 63,1 | (91 %) | 71,9 | (103 %) | 64,4 | (93 %) |

Tabelle 10: Einfluss der Bewässerung auf Ertrag, Qualität und Wassernutzung im Projektzeitraum

| | 2018 | | 2019 | | 2020 | | 2021 | | 2022 | | |
|--|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-----------------|
| | unbewässert | bewässert | unbewässert | bewässert | unbewässert | bewässert | unbewässert | bewässert | unbewässert | bewässert A | bewässert B |
| Zusatzwasser (mm) | | 334,8 | | 247,9 | | 75,6 | | 25,0 | | 401,1 | 204,3 |
| Kornertrag (dt) | 19,3 | 40,2 (208 %) | 7,4 | 30,8 (419 %) | 14,6 | 28,2 (194 %) | 26,8 | 30,6 (114 %) | 9,1 | 35,3 (387 %) | 28,8 (316 %) |
| Rohproteingehalt (% TS) | 40,3 | 30,7 | 44,0 | 35,2 | 44,0 | 43,0 | 40,6 | 41,7 | 41,6 | 40,5 | 39,6 |
| Ölgehalt (% TS) | 21,6 | 24,3 | 18,2 | 22,3 | 19,3 | 18,4 | 18,4 | 17,9 | 19,1 | 19,2 | 19,8 |
| Wasserverbrauch (l/m ²)* | 203,1 | 470,0 | 173,9 | 410,8 | 274,1 | 341,6 | 318,9 | 348,2 | 245,6 | 555,9 | 363,2 |
| WnE Korn* (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹) | 9,5 | 8,5 | 4,3 | 7,5 | 5,3 | 8,3 | 8,4 | 8,8 | 3,7 | 6,4 | 7,9 |

*blau: wegen Messfehlern der Wetterstation am Versuch nach Niederschlagswerten der DLG kalkuliert

Tabelle 11: Kosten und Erlöse unter Bewässerung in Sojabohnen

| | 2018 | | 2019 | | 2020 | | 2021 | | 2022 | | | Mittelw. |
|--|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|----------------|----------------|----------|
| | Unbew. | bewässert | Unbew. | bewässert | Unbew. | bewässert | Unbew. | bewässert | Unbew. | bewässert A | bewässert B | |
| Zusatzwasser (mm) | | 334,8 | | 247,9 | | 75,6 | | 25,0 | | 401,1 | 204,3 | |
| Ertrag (dt/ha) | 19,3 | 40,2 | 7,4 | 30,8 | 14,6 | 28,2 | 26,8 | 30,6 | 9,1 | 35,3 | 28,8 | |
| Rohproteingehalt | 40,3 | 30,7 | 44,0 | 35,2 | 44,0 | 43,0 | 40,6 | 41,7 | 41,6 | 40,5 | 39,6 | |
| Mehrertrag (dt/ha) | 21,6 | 24,3 | 18,2 | 22,3 | 19,3 | 18,4 | 18,4 | 17,9 | 19,1 | 19,2 | 19,8 | |
| Erzeugerpreis (Ende September, €/dt) | | 20,9 | | 23,4 | | 13,7 | | 3,8 | | 26,2 | 19,7 | 17,9 |
| Marktleistung (€/ha) | | 33,27 | | 33,54 | | 50,01 | | 63,01 | | 63,04 | | |
| Mehrleistung (€/ha) | | 695,50 | | 786,45 | | 682,95 | | 238,41 | | 1650,15 | 1242,76 | 882,70 |
| Wasserverbrauch (mm) | | 334,80 | | 247,90 | | 75,60 | | 25,00 | | 401,12 | 204,30 | 214,79 |
| Kosten der Bewässerung bei 3 €/mm (€/ha) | | 1004,40 | | 743,70 | | 226,80 | | 75,00 | | 1203,36 | 612,91 | 644,36 |
| Kosten des Mehrertrages bei 2,08 €/dt (€/ha) | | 43,48 | | 48,77 | | 28,41 | | 7,87 | | 54,45 | 41,00 | 37,33 |
| Bewässerungskostenfreie Mehrleistung ohne Kosten des Mehrertrages (€/ha) | | -308,90 | | 42,75 | | 456,15 | | 163,41 | | 446,78 | 629,85 | 238,34 |
| Bewässerungskostenfreie Mehrleistung mit Kosten des Mehrertrages (€/ha) | | -352,38 | | -6,02 | | 427,75 | | 155,54 | | 392,34 | 588,84 | 201,01 |
| Mehrerlös nach Abzug der mehrertragsbedingten Kosten (€/ha) | | 652,02 | | 737,68 | | 654,55 | | 230,54 | | 1595,70 | 1201,75 | 845,37 |
| maximale Berechnungskosten (€/mm) | | 1,95 | | 2,98 | | 8,66 | | 9,22 | | 3,98 | 5,88 | 5,44 |

Auswertung der Bodenfeuchtemessungen in Möhren

Versuchsjahr 2021/22

2022 wurden die Möhren um den 19. Mai auf einer neuen Fläche ausgesät. Die Tropfbewässerungsfläche war wieder in 6 Segmente unterteilt. In der Auflaufphase der Möhren kam es durch einen Defekt am Ventil des 6. Segments zu einem ungeplanten Wasserzufluss, der in den anderen Segmenten fehlte. In den erfassten Daten ergeben sich somit Unsicherheiten und es kam zu einem verzögerten und ungleichmäßigen Auflaufen der Möhren. Ende Juni fiel die Pumpe aus, so dass in dieser Zeit auch nur über den Eigendruck des Containers bewässert werden konnte, was nicht flächenspezifisch erfasst wurde. Die in dieser Zeit eingesetzte Wassermenge wurde den sechs Segmenten zu gleichen Teilen angerechnet. Da diese unterschiedlich groß waren, ergaben sich unterschiedliche Bewässerungshöhen in mm. Die Unterbrechung der Bewässerung wirkte sich negativ auf den Wuchsverlauf der Möhren aus und brachte eine sehr starke Variation in den Bestand (Abb. 23+24).



Abbildung 23: Messpunkt in Segment 2 der Tropfbewässerung, 01.07.22



Abbildung 24: Entwicklung der Möhren unter konventioneller Bewässerung (links) und Tropfbewässerung (rechts), 04.08.2022

Mitte Juni wurden parallel zu den Permanentsonden 6 Messpunkte in die 6 Segmente mit Tropfbewässerung gesetzt, zum Vergleich 2 Messpunkte im konventionell bewässerten Bereich.

Im wöchentlichen Turnus wurde die Bodenfeuchte mit einer mobilen Bodenfeuchtesonde Diviner 2000® (Sentek sensor technologies) mittels Frequency Domain Reflektometrie (FDR) gemessen. Dabei wurde das Bodenprofil bis 80 cm Tiefe in 10 cm-Schritten erfasst. Gleichzeitig erfolgt eine Bonitur und Fotodokumentation der Bestandesentwicklung.

Abb. 25 zeigt den Witterungsverlauf der Vegetationsperiode. Die Vegetationsperiode war durch hohe Sommertemperaturen und ein ausgeprägtes Niederschlagsdefizit gekennzeichnet. In der Summe fielen von Anfang Mai bis zur Ernte (Handernte im Bereich der Messpunkte) 166 mm Niederschlag (Vorjahr 324 mm).

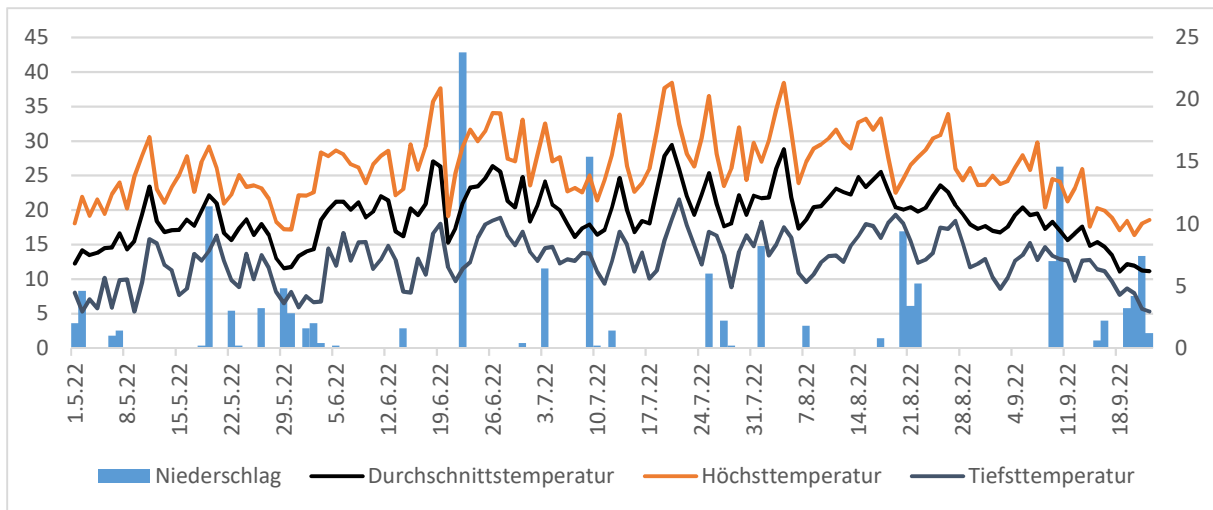


Abbildung 25: Witterung in der Versuchszeit (Daten der Wetterstation Baasdorf)

Abb. 26 zeigt den Verlauf der Bodenfeuchte unter Möhren im Vergleich von Tropfbewässerung und konventioneller Bewässerung in Relation zur Wasserzufuhr. Deutlich ist zu sehen, dass die konventionelle Bewässerung in der Auflaufphase weit höher war als bei Tropfbewässerung. Entsprechend wurden anfangs auch höhere Bodenfeuchten gemessen. Bei der Tropfbewässerung wurden wie im Vorjahr bis zur Ernte noch kleine Wassergaben verabreicht.

Da die Wasserzufuhr der einzelnen Segmente sehr unterschiedlich war, zeigt Abb. 27 die Verläufe der einzelnen Segmente in der Tropfbewässerung. Bereits im Juli war die Bodenfeuchte in den ersten beiden Segmenten deutlich niedriger als in den anderen. Im Vegetationsverlauf fiel vor allem die Feuchte im ersten Segment immer weiter ab. Umgekehrt fielen weit überdurchschnittliche Feuchtwerte im 3. Segment ab Anfang August auf. In den Bewässerungsmengen ist dafür keine Ursache zu finden.

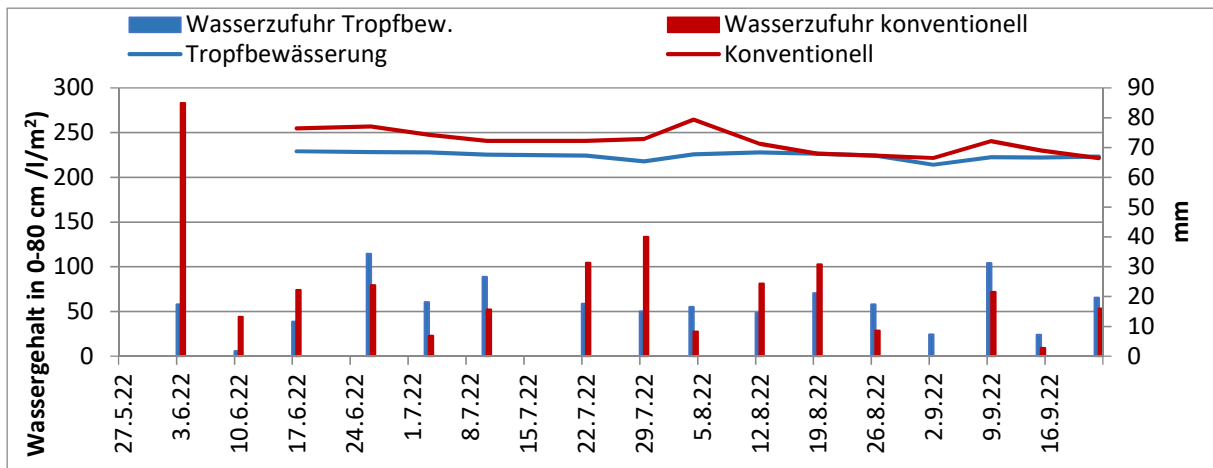


Abbildung 26: Bodenwassergehalt unter Möhren in 0-80 cm, Mittel aus je 6 Wiederholungen Tropfbewässerung / 2 Wiederholungen konventionell im Vergleich zur Wasserzufuhr (Niederschlag + Bewässerung)

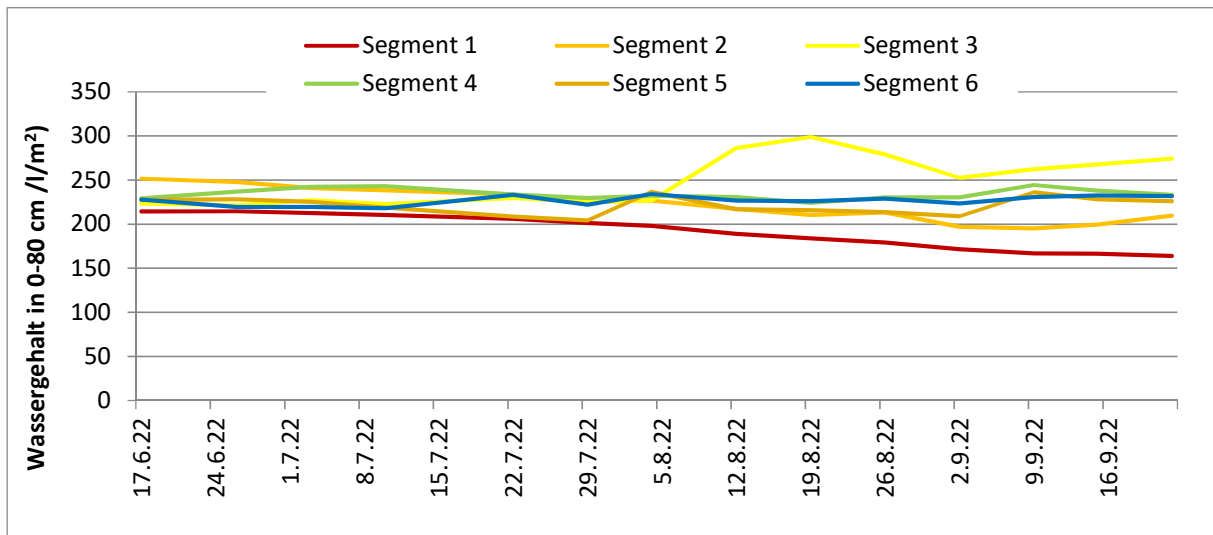


Abbildung 27: Bodenwassergehalt unter Möhren in 0-80 cm, Einzelwerte der Segmente unter Tropfbewässerung

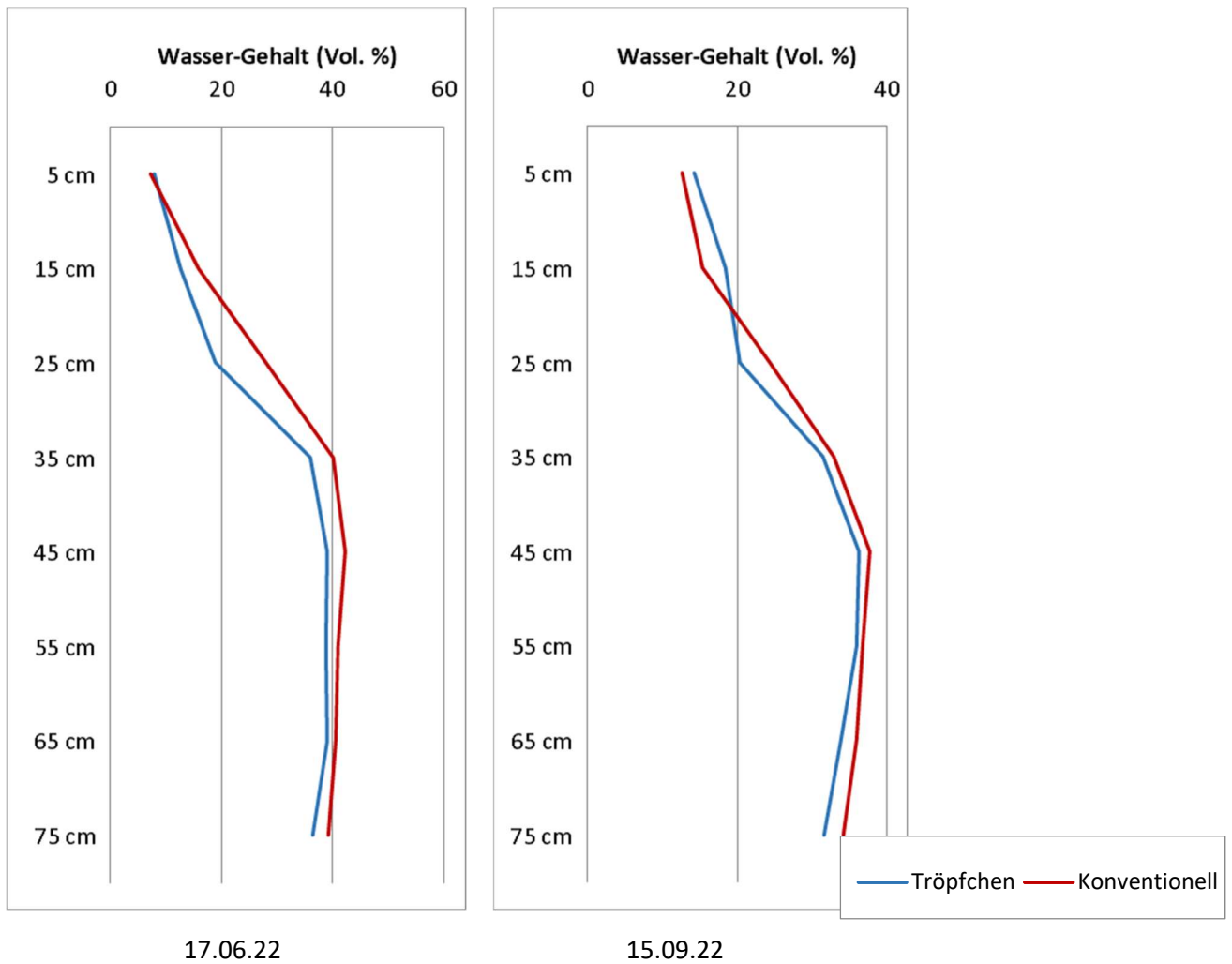


Abbildung 28: Tiefenverlauf der Bodenfeuchte in Abhängigkeit vom Bewässerungsverfahren

Abb. 28 zeigt den Tiefenverlauf der Bodenfeuchte exemplarisch für zwei Termine. Über nahezu den gesamten Zeitraum lagen die Werte unter Tropfbewässerung niedriger als bei konventioneller Beregnung. Mitte Juni war insbesondere die Krume deutlich trockener. Dies kehrte sich erst gegen Ender der Versuchszeit um, bedingt durch die längere Bewässerungsperiode in der Tropfbewässerung.

In Abb. 29 wird der kumulative Wasserverbrauch über die Vegetationszeit dargestellt. Bedingt durch die höheren Zusatzwassergaben vor allem im Mai war dieser bei konventioneller Bewässerung deutlich höher als unter Tropfbewässerung.

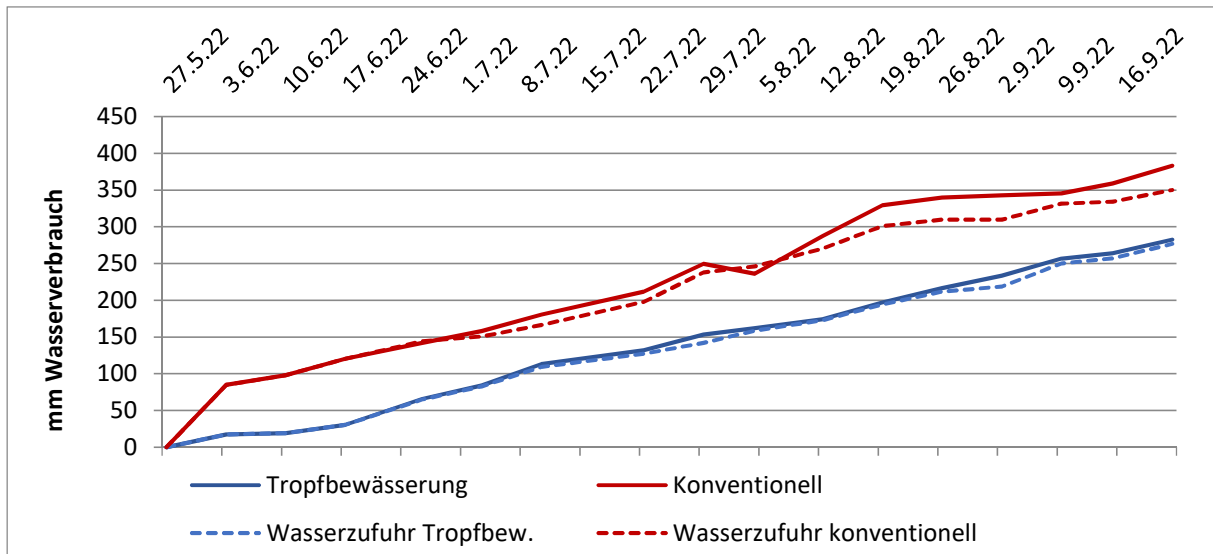


Abbildung 29: Kumulativer Wasserverbrauch im Vergleich zum Wasserangebot aus Niederschlag und Bewässerung

Die Abbildungen 30-32 zeigen den Verlauf der Bodenwassergehalte in unterschiedlichen Bodentiefen. Im für die Pflanzen besonders wichtigen Krumbereich waren anfangs konventionell deutlich höhere Werte zu verzeichnen. Nach Einstellung der oberflächlichen Beregnung lagen die Werte in der Tropfbewässerungsvariante höher. Deutlich ist die Reaktion auf größere Niederschlagsereignisse zu sehen.

Im Unterboden liefen die Kurven weitgehend parallel, waren bei konventioneller Beregnung aber durchweg höher als die der Tropfbewässerungsvariante.

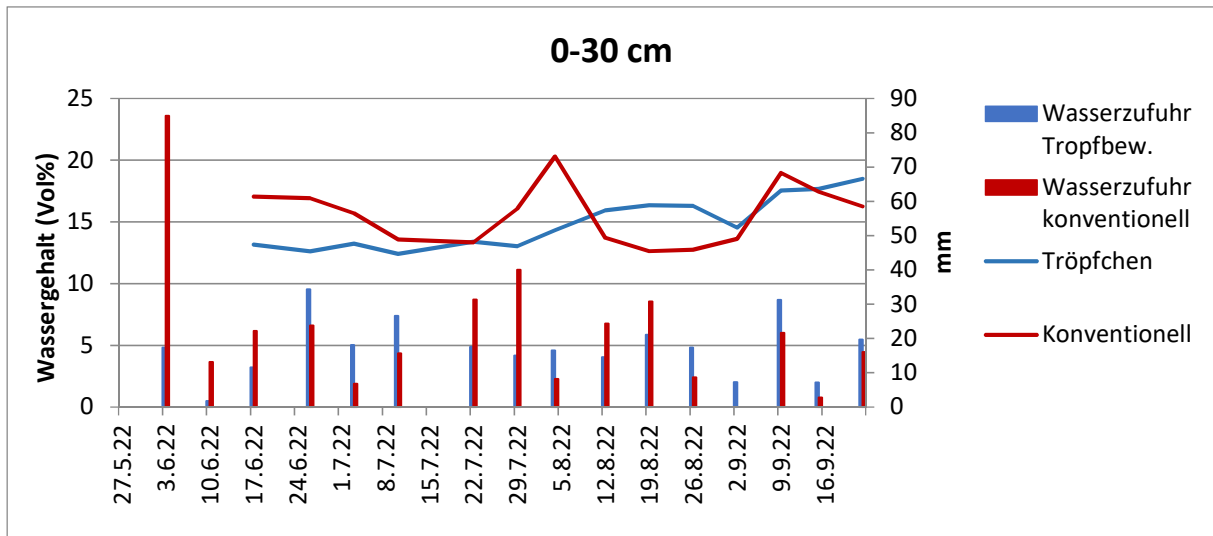


Abbildung 30: Zeitlicher Verlauf des Bodenwassergehalts in in 0-30 cm Tiefe

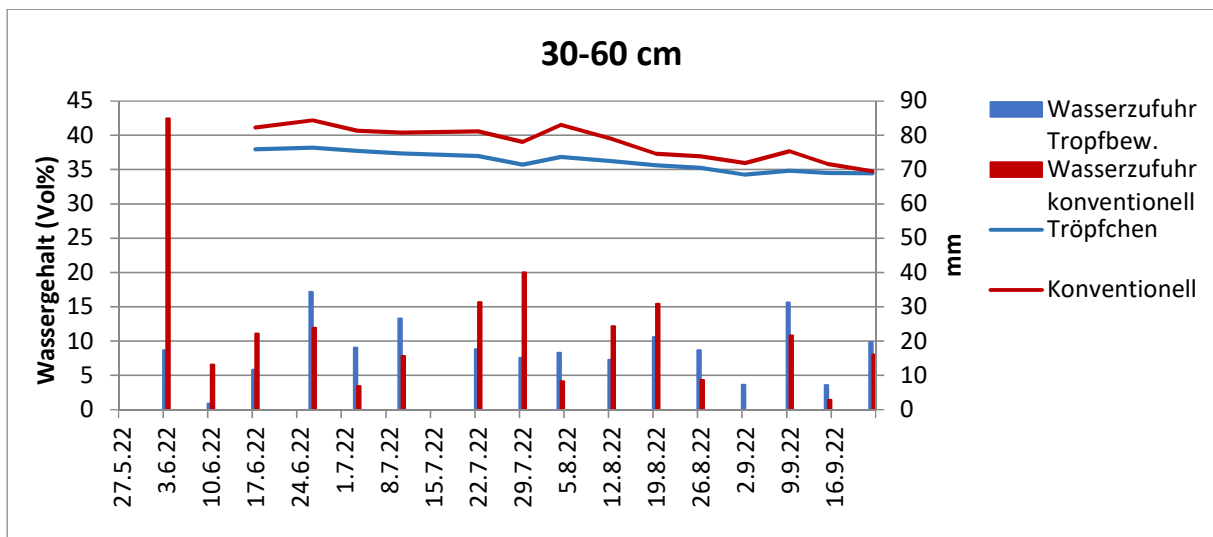


Abbildung 31: Zeitlicher Verlauf des Bodenwassergehalts in 30-60 cm Tiefe

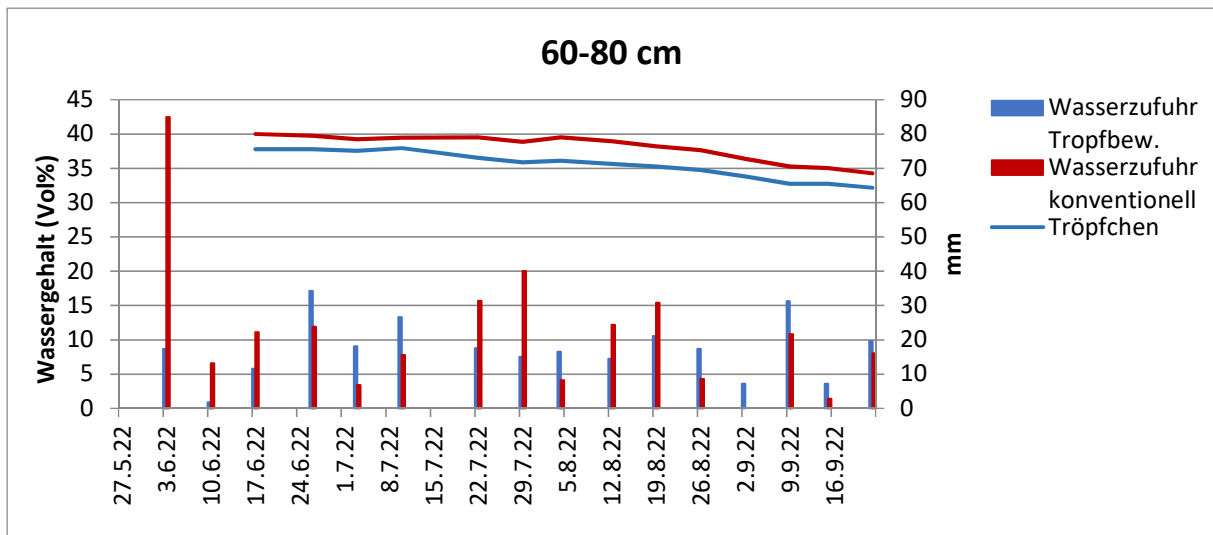


Abbildung 32: Zeitlicher Verlauf des Bodenwassergehalts in 60-80 cm Tiefe

Ertrag und Wassernutzungseffizienz der Möhren:

Durch technische Schwierigkeiten im Bewässerungssystem ergaben sich anfangs ein ungleichmäßiger Feldaufgang und eine ungleichmäßige Bestandesentwicklung unter Tropfbewässerung. Auch wenn Entwicklungsrückstände (Tab. 14) teilweise aufgeholt werden konnten, blieben die Möhren unter Tropfbewässerung hinter den konventionell bewässerten Bereichen zurück. Ende Juli kam es durch einen Rohrbruch zu Wasserschäden. Stellenweise trat auch eine starke Verunkrautung auf.

Tabelle 12: BBCH-Stadien während der Messperiode

| | Tropfbewässerung | | | | | | konventionell | |
|------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | K1 | K2 |
| 01.07.2022 | 10-12 | 10-13 | 10-13 | 10-12 | 10-13 | 10-14 | 13 | 13 |
| 08.07.2022 | 15-16 | 14-15 | 13-14 | 15-16 | 13-14 | 13-15 | 15-16 | 13-15 |
| 15.07.2022 | 16-17 | 15-16 | 15-16 | 15-16 | 13-16 | 15-16 | 15-16 | 14-15 |
| 22.07.2022 | 16-41 | 14-40 | 13-41 | 15-41 | 13-41 | 13-40 | 41 | 41 |
| 29.07.2022 | 16-44 | 16-45 | 16-44 | 16-44 | 16-45 | 16-44 | 41-45 | 41-45 |
| 04.08.2022 | 44 | 45 | 44 | 44 | 45 | 44 | 41-45 | 41-45 |
| 12.08.2022 | 45 | 46 | 45 | 45 | 46 | 45 | 41-46 | 41-46 |
| 19.08.2022 | 45 | 46 | 45 | 45 | 46 | 45 | 43-46 | 43-46 |
| 26.08.2022 | 48 | 49 | 47 | 48 | 49 | 47 | 45-47 | 45-47 |
| 02.09.2022 | 48 | 49 | 47 | 48 | 49 | 47 | 46-49 | 46-49 |
| 09.09.2022 | 48 | 49 | 48 | 48 | 49 | 48 | 48-49 | 48-49 |
| 16.09.2022 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 |
| 22.09.2022 | Ernte | | | | | | | |

Am 22.09.22 erfolgte eine Handernte mit anschließender Qualitätsbeurteilung auf 4-mal 1 m Reihenhänge je Messpunkt.

Der Gesamtertrag lag 2022 nur bei einem Bruchteil der Werte des Vorjahrs (Tab. 15). Mit 329 dt wurden unter Tropfberegnung 27 % weniger Möhren geerntet als konventionell (453 dt). Der Krautanteil an der Gesamternte war in beiden Varianten identisch. Durch die ungleichmäßige Wasserversorgung (Tab. 16) und ungleichmäßige Bestände verfehlte ein hoher Anteil die Anforderungen an marktfähige Ware. Mit 66 und 71 % marktfähiger Ware ergaben sich 220 bzw. 324 dt marktfähige Ware. Der geringere Wert der Tropfbewässerung entstand vor allem durch das schlechte Abschneiden des besonders trockenen Segments 1 (44 %).

Tabelle 13: Ertragsauswertung der Handernte am 22.09.2022

| | dt/ha gesamt | dt/ ha Kraut | % Kraut | dt/ha Möhren | verkaufsfähige Ware % | dt/ha |
|--|-----------------|-----------------|---------|-----------------|--------------------------|--------|
| Tropfbewässerung | 446 ±77 | 117 ±29 | 25,9 | 329±50 | 65,8 | 220±61 |
| konventionell | 613 ±17 | 159 ±4 | 26,1 | 453±20 | 71,4 | 324±42 |
| Verhältnis Tropfbewässerung / konventionell (%) | 73 | 73 | 100 | 73 | 92 | 68 |

Tabelle 14: Wasserverbrauch, Ertrag und Wassernutzungseffizienz (WnE) von Möhren unter Tropfbewässerung und konventioneller Beregnung

| | Tropfbewässerung | | Konventionell | |
|--|------------------|----|---------------|----|
| | MW | s | MW | s |
| Zusatzwasser (mm) | 138 | 30 | 211 | |
| Wasserverbrauch (l/m ²) | 283 | 46 | 383 | 32 |
| Ertrag gesamt (dt) | 329 | 50 | 453 | 20 |
| % marktfähig | 66 | 11 | 71 | 6 |
| Ertrag marktfähig | 220 | 61 | 324 | 42 |
| WnE gesamt (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹) | 120 | 32 | 118 | 5 |
| WnE marktfähig (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹) | 80 | 26 | 84 | 4 |

Bei der maschinellen Ernte am 10.10.22 wurden von der tropfbewässerten Möhrenfläche (2,65 ha netto) 400 dt/ha Möhren geerntet. Davon konnten 70 % vermarktet werden (279,5 dt/ha), allerdings nur 23 % als gelegte Ware, 43 % zur Verwertung als Suppe und 4 % als Futtermöhren. Der Rest (30 %) waren Bruch und Ausfall. Da sich sowohl in der registrierten Wasserzufuhr, der Bodenfeuchte als auch in Ertrag und Qualität erhebliche Differenzen zwischen den Segmenten zeigten, sind in Tab. 17+18 die Einzelwerte dargestellt. Der Ertrag stieg von Segment 1 (110 dt/ha) bis Segment 6 (276 dt/ha marktfähige Ware) kontinuierlich an. Allein aus der Wasserzufuhr sind diese Differenzen nicht zu erklären.

Tabelle 15: Wasserverbrauch, Ertrag und Wassernutzungseffizienz (WnE) von Möhren in den einzelnen Segmenten

| | Tropfbewässerung | | | | | | Konventionell | |
|---|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|--------|
| | Segment 1 | Segment 2 | Segment 3 | Segment 4 | Segment 5 | Segment 6 | Kon 1 | Kon 2 |
| Zusatzwasser | 132,2 | 119,5 | 116,8 | 130,1 | 132,7 | 197,4 | 211,5 | 211,5 |
| Wasserverbrauch (l/m ²) | 321,2 | 300,0 | 204,6 | 264,6 | 272,8 | 332,0 | 360,4 | 405,9 |
| Ertrag gesamt (dt) | 251,4 | 285,2 | 337,5 | 352,7 | 378,0 | 367,9 | 438,8 | 467,4 |
| % marktfähig | 43,9 | 70,8 | 64,5 | 69,2 | 71,1 | 75,1 | 67,1 | 75,7 |
| Ertrag marktfähig | 110,5 | 202,0 | 217,5 | 244,2 | 268,6 | 276,1 | 294,5 | 353,6 |
| WnE gesamt(kg ha ⁻¹ mm ⁻¹) | 78,28 | 95,06 | 164,97 | 133,28 | 138,57 | 110,80 | 121,75 | 115,16 |
| WnE marktfähig(kg ha ⁻¹ mm ⁻¹) | 34,40 | 67,34 | 106,33 | 92,29 | 98,48 | 83,16 | 81,73 | 87,12 |

Tabelle 16: Ertragsauswertung der Handerte in den einzelnen Segmenten

| | Tropfbewässerung | | | | | | Konventionell | |
|-----------------------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|-------|
| | Segment 1 | Segment 2 | Segment 3 | Segment 4 | Segment 5 | Segment 6 | Kon 1 | Kon 2 |
| t/ha-m-Kraut | 32,9 | 37,5 | 47,1 | 48,4 | 53,3 | 48,1 | 60,1 | 62,4 |
| t/ha Möhren | 25,1 | 28,5 | 33,8 | 35,3 | 37,8 | 36,8 | 43,9 | 46,7 |
| t/ha Kraut | 7,8 | 8,9 | 13,3 | 13,2 | 15,5 | 11,3 | 16,2 | 15,7 |
| % Kraut | 23,6 | 23,9 | 28,3 | 27,2 | 29,1 | 23,5 | 27,0 | 25,1 |
| t/ha marktfähige Ware | 11,1 | 20,2 | 21,8 | 24,4 | 26,9 | 27,6 | 29,5 | 35,4 |
| % marktfähig | 43,9 | 70,8 | 64,5 | 69,2 | 71,1 | 75,1 | 67,1 | 75,7 |

3.2 Beitrag der Ergebnisse zu den förderpolitischen Zielen

Die erzielten Ergebnisse aus dem Projekt liefern einen Beitrag, dem Klimawandel und dessen Folgen zu entgegnen und einen effektiven und umweltgerechten Anbau der Kulturen (z.B. Weizen, Soja und Möhren) zu ermöglichen. Im Umgang mit der knappen Ressource Wasser werden bei der effizienten Bewässerungssteuerung Bodeneigenschaften und Eigenschaften der angebauten Kultur berücksichtigt und demzufolge Erträge und Qualitäten gesichert. Eine gezielte Zusatzwassergabe über die solargesteuerte Tropfberegnung versorgt die Pflanze direkt an der Wurzel und mindert die Wasserverdunstung während der Beregnung und Nitratauswaschungen. Die Nutzung erneuerbarer Energien leistet einen Beitrag zur Ökonomie und zu den ökologischen Zielen.

3.3 Erreichung der Ziele des Vorhabens

Einschätzungen zum Erreichen der Projektziele

Durch die unterirdisch verlegten Tropfschläuche wird das Wasser direkt in den Wurzelraum der Pflanzen geleitet. Es erfolgt keine Befeuchtung der Bodenoberfläche oder gar der Pflanzen. Eine unproduktive Interzeption und Evaporation des Bewässerungswassers werden damit komplett ausgeschlossen. Auch aus phytosanitärer Sicht ist das ein Vorteil, da keine Förderung von Pilzinfektionen erfolgt. Allerdings ist durch die großen Reihen- und Tropferabstände keine gleichmäßige Durchfeuchtung des Bodenprofils gegeben. Mit der gegebenen Bauweise wäre die Anlage ideal für Reihenkulturen mit 50 cm Reihenabstand, die mit jeweils 25 cm Abstand zum nächsten Tropfschlauch angelegt werden könnten, wobei jedoch der Anbau von Wurzelfrüchten nicht möglich ist. Sojabohnen können nach eigenen Erfahrungen bei 50 cm Reihenabstand ihr Ertragspotenzial am Standort nicht ausschöpfen, da die für die Region geeigneten frühen Sorten kaum verzweigen. Günstiger würde sich die Situation unter ökologischen Anbaubedingungen darstellen, wo oft mit größeren Reihenabständen gearbeitet wird, um mechanische Unkrautbekämpfung zu ermöglichen. Hier wäre auch das Problem einer unzureichenden Bodenwirkung von Herbiziden bei Trockenheit nicht relevant. Für die Wirksamkeit mechanischer Maßnahmen ist eine trockene Bodenoberfläche eher günstig.

Im Weizenanbau war das größte Problem, eine ausreichende N-Düngewirkung zu erzielen, um die angestrebten Rohproteingehalte zu erreichen. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf, inwieweit dies durch eine geschickte Kombination aus oberflächlicher Düngung zu Vegetationsbeginn und Fertigation zum Schossen bis Ährenschieben erreichbar ist. Da eine stärkere Wasserbewegung nach unten als zur Seite zu erwarten ist, dürfte bei 1 m Schlauchabstand keine vollständig homogene Nährstoffbereitstellung über das Bewässerungswasser zu erreichen sein. Es ist zu beachten, dass dabei keine Auswaschungsverluste gefördert werden und dass im Unterboden mit einer stark verzögerten mikrobiellen Umsetzung zu rechnen ist. Auch eine Fertigation wäre bei Reihenkulturen unproblematischer umzusetzen.

Weitere formulierte Ziele konnten in der Projektlaufzeit erreicht werden. Dazu zählt der Aufbau der solargesteuerten Bewässerung. Der Solarantrieb der Pumpen reichte aus, auch in Spitzenzeiten ausreichend Wasser in die Anlage zu pumpen. Die zusammengestellten Komponenten aus Solarpumpe, Tropfbewässerung, Steuertechnik, Controller, GSM-Modul und Software sind

aufeinander abgestimmt und laufen auf dem Feld bei der Bewässerung autonom. Es ist kein zusätzliches Eingreifen von außen notwendig, was aber eine Kontrolle der Systeme durch den Anwender nicht ausschließt. Die benötigte Energie für die Pumpe und Controller wird über Solarmodule abgedeckt. Auch bei diffusem Licht und höherer Bewölkung bei einer Leistung der Solarmodule $>150 \text{ W/m}^2$ arbeitet das System fehlerfrei. Unter der Schwelle von 150 W/m^2 schaltet sich eine Wolken Abschaltautomatik ein, der Bewässerungsprozess wird gestoppt und läuft erst bei ausreichender Energieversorgung weiter. Ein energieautarker Betrieb von Tropfbewässerungssystemen ist damit möglich.

Der Befehl für die Bewässerung kommt aus einem vordefinierten Bewässerungsplan, in dem die Zeiträume für die zu bewässernden Flächen angelegt sind. Die Teilautomatisierung funktioniert mit dem Programm von „Galcon“ der programmierbaren Zeitsteuerung der Beregnungsanlage problemlos, indem die Steuerventile geöffnet bzw. geschlossen werden. Über die Laufzeit wird die Menge der Bewässerungsgabe definiert. Die Höhe der Bewässerungsgabe richtet sich nach dem Wachstumsstand der Kultur und nach der aktuellen Bodenfeuchte, die von den Bodensensoren entnommen wird. Bei dieser Methode konnten erste Einsparungseffekte bei der Bewässerung verzeichnet werden, da das System die Anlage souverän steuerte und die Bewässerungszeiten eingehalten wurden.

Mit der Modulation des Bodenwasserhaushalts und des Pflanzenwachstums im MIKE SHE war die Voraussetzung für die vollautomatisierte Bewässerung geschaffen. Das tatsächliche Abbild des Standortes und die jeweilige Pflanzenentwicklung lassen auf den Wasserbedarf der Kultur schließen. Die Berücksichtigung der aktuellen klimatischen Situation und der Bodenfeuchte korrigieren den simulierten Wasserbedarf nach oben oder unten. Eine an den Standort angepasste und optimale Bewässerungsempfehlung lässt sich darüber ermitteln und nach der Verrechnung der Daten schickt das Programm MIKE OPERATION bei Bewässerungsbedarf einen Befehl an das GSM-Modul, welches die Steuerventile an der Beregnung automatisch öffnet und die Pumpe startet. Nach der Ausbringung der empfohlenen Beregnungsmenge schließt das Ventil wieder. Ein Nachteil des Systems ist, dass zum Erstellen der Simulationsmodelle und des operationellen Modells Experten- und Programmierwissen im Umgang mit der Software erforderlich ist. Es fehlt die einfache Bedienung, um diesen Service als Dienstleistung in der Bewässerungsbranche anbieten zu können. Hier wären eine Weiterentwicklung und Vereinfachung in der Bedienung der Software angebracht.

Die Vollautomatisierung der Bewässerung über Mike OPERATION lief in Strenzfeld in den Kulturen Winterweizen und Soja im letzten Projektjahr durch. Hier waren alle Voraussetzungen gegeben, so dass genügend Ressourcen wie Strom, Wasser u.a. die Vollautomatisierung der Bewässerung ermöglichten. Demgegenüber war der Standort in Arensdorf benachteiligt, da das Wasserangebot des genutzten Brunnens mit 4 bis $6 \text{ m}^3/\text{h}$ zu gering war. Ein anderer Brunnen mit höherer Leistung stand nicht zur Verfügung mit dem eine Kreisberegnung hätte bedient werden können, wie es ursprünglich geplant war. Die Wahl fiel auf eine Tropfbewässerungsanlage, bei der das Wasser sparsam mit geringerer Verdunstung direkt an die Wurzeln der Pflanzen gelangt. Es war schwierig, eine 3,5 ha große Möhrenfläche über Tropfberegnung ausreichend zu bewässern. Vormittags und nachmittags startete die Bewässerung der Segmente und in den Mittagstunden fand die Befüllung des 30 m^3 großen Containers statt. Bei höherem Bewölkungsgrad bzw. geringem Energiefluss $< 150 \text{ W/m}^2$ stoppte die Abschaltautomatik den Bewässerungsvorgang und schaltete bei guten Lichtverhältnissen wieder ein. Die Bewässerung des gestoppten Segments (Möhrenfläche) wurde zwar fortgesetzt, doch fehlte es an der applizierten Wassermenge je nach Dauer der Bewässerungspause oder die Bewässerung schaltete das Ventil des nächsten Segments an. Das vorhergehende Segment war noch nicht fertig beregnet. Das Wasserdefizit zeigten die Bodensonden an. Das hätte die vollautomatisierte Steuerung erkannt, jedoch

nicht in geplanter Weise über die Modulation beheben können, da die Bewässerung der Segmente in vorgegebenen Zeiten laufen musste.

Erschwerend kamen die geringen Niederschläge bzw. Dürreperioden hinzu, die den Grundwasserstand beeinflussten. Daraus ergab sich ein noch höherer Anteil von Mineralstoffen wie Kalk und Mangan im Grundwasser, welches die Solarpumpe beschädigte und die in 2 von 3 Jahren ersetzt werden musste. Die Bewässerung im letzten Jahr lief suboptimal. Es wurde viel improvisiert. Die Bewässerung lief über den Eigendruck des Containers und wurde händisch nachkorrigiert, was ein sehr differenziertes Auflaufen der Bestände verursachte und zu Ertragseinbußen führte.

Nicht erreicht wurde das Ziel, mittels modellgestützter Echtzeit-Steuerung der Anlage den Wasserverbrauch zu reduzieren und ideal an den Bedarf der Pflanzen anzupassen. Zu hinterfragen ist, welche Parameter in eine exakte Vorhersage des Wasserbedarfs einfließen müssen und wie exakt diese in der Praxis zu erfassen sind. Nachdem in den ersten Jahren deutlich zu hohe Wassergaben kalkuliert wurden, sind Ergebnisse kontinuierlicher Bodenfeuchtemessungen (0-90 cm, Sentek Drill & Drop TriScan) als Korrekturgröße in die Modellierung einbezogen worden. Problematisch ist hierbei jedoch die sowohl horizontal als auch vertikal ungleichmäßige Verteilung des Wassers bei unterirdischer Tropfbewässerung. Im Hinblick auf die horizontale Verteilung müssten die Sonden zentimetergenau in einem definierten Abstand zu einem Tropfer platziert werden, um reproduzierbare Ergebnisse zu liefern. Vorhandene Hohlräume können aber auch dann zu Fehleinschätzungen führen. Da die obersten Bodenschichten nicht mit befeuchtet werden, wäre sinnvoll, nur die Daten der Sensoren in mittleren Bodenschichten in die Berechnungen einfließen zu lassen.

Weitere Fehlerquellen sind Unsicherheiten bei Wettervorhersage und Erfassung von Wetterdaten. Zu prüfen ist, ob Wachstumsmodelle präzise an die gegebenen Standortbedingungen und Witterungsverläufe angepasst wurden und Biomassebildung und Entwicklungsstadien exakt vorhersagen können sowie ob die im Vergleich zu oberflächlicher Bewässerung stark reduzierte Evaporation hinreichend berücksichtigt wurde.

Für eine optimale Wasserausnutzung sind Empfehlungen aus Bewässerungsversuchen auf sandigeren Böden nur eingeschränkt übertragbar. In Böden mit hohem Wasserspeichervermögen ist gegen Vegetationsende ein deutlich stärkeres Absinken der relativen nFK tolerierbar, um eine gute Ausnutzung des Bodenvorrats anzustreben.

4 Ergebnisverwertung, Kommunikation und Verstetigung

4.1 Nutzen der Ergebnisse für die Praxis

Während der Projektdurchführung hat sich gezeigt, dass die solargestützte automatisierte Bewässerung nach Zeitplan gut funktioniert und neben dem landwirtschaftlichen Einsatz in anderen Bereichen mit Bewässerungsbedarf z.B. Grünbrückenanlagen an Autobahnen, Parkanlagen funktioniert. Das System wird von dem Projektpartner Irriproject mit den dafür notwendigen Komponenten aufgebaut, eingestellt und läuft völlig autark. Bedingung ist eine hydraulische Planung für den Anlagenaufbau, Zusammenstellung der Technik und ein funktionstüchtiger Brunnen, mit dem der entsprechende Wasserbedarf gedeckt werden kann. Die Höhe der Bewässerungsgaben kann über eingebaute Bodensonden, die stündliche Messwerte an eine Cloud schicken, Wetterstation mit Niederschlagsmessung und Wasserbedarf der Pflanzen eingestellt werden. Eine Nachjustierung der

Wassergaben kann mit dem Bewässerungsprogramm (App) leicht vorgenommen werden, indem die Bewässerungsphasen gekürzt oder verlängert werden. Die Daten der Bodensonden zeigen nach der Eingabe des Wasserhaltevermögens des Bodens ein Überangebot bis zur Unterversorgung an Wasser an. Ist der Stresspunkt erreicht, gibt es kein pflanzenverfügbares Wasser mehr im Boden. Die Ausweisung der nutzbaren Feldkapazität (nfK) hilft beim Bewässerungsmanagement, um den optimalen Termin für den Bewässerungsstart zu finden und die Bewässerungsdauer einzustellen. Mit absinkender nfK von unter 50 % nfK wurde im Projekt mit der Bewässerung begonnen, was jedoch kulturabhängig ist.

Eine weiterentwickelte Technik kam bei der Möhrenproduktion zum Einsatz. Für den Aufbau der Tropfberegnungsanlage und Möhrenaussaat wurde eine neue Maschine entwickelt, die mehrere Arbeitsschritte in einem vereinigt. Nach dem Fräsen der Fläche wird der Damm geformt und der Tropfschlauch in 4 cm Tiefe abgelegt. Der betriebsübliche Anbau von Möhren ist 3-reihig. Demzufolge wird die gleiche Menge Saatgut pneumatisch auf 2 Reihen aufgeteilt, ähnlich einer Breitzurfsaat. Zum Schluss wird der Damm angedrückt für den Bodenschluss des Samenkorns. Die Arbeitsgeschwindigkeit der Sämaschine ist relativ langsam, könnte aber optimiert werden.

Für die Durchführung des Projektes wurde vom Praxisbetrieb wegen geringer Wasserverfügbarkeit an Stelle einer Kreisberegnung eine Tropfberegnungsanlage aufgebaut. Die bereitgestellte Fläche für die Möhrenproduktion stammte vom ansässigen Gemüsebauer „Bördegarten“. Das Verfahren des Möhrenanbaus unter Tropfbewässerung wurde so weit wie möglich der betriebsüblichen Produktion angepasst. Das bedeutet auch, dass die Arbeitsbreiten gleichgehalten sind und der Gemüsebaubetrieb die vorhandene Technik zur Bestandspflege und Ernte weiter nutzen kann. Neu ist hierbei die Sämaschine, allerdings musste eine Maschine zum Bergen der Tropfschläuche ausgeliehen werden.

4.2 Geplante Publikation, Verbreitung und Verwertung der Ergebnisse

Auf Veranstaltungen und Bewässerungsfeldtagen wurde den Landwirten die Versuchsanlage in Strenzfeld und Praxisfläche in Arensdorf gezeigt und das Projekt IrriMode präsentiert. Anklang fand die Versorgung der Kulturen über eine solargesteuerte Bewässerung, da das aufwendige Betanken der Dieselpumpen oder Aggregate für die Elektropumpen auf dem Feld entfällt. Die Variante mit dem Wassercontainer als Zwischenspeicher war für ansässige landwirtschaftliche Betriebe sehr interessant, wenn nur ungenügend Wasser z.B. Oberflächenwasser für eine Beregnung zur Verfügung steht.

Veröffentlichungen:

DHI in Zeitschrift "Kartoffelanbau" 03/19

OG IrriMode in Zeitschrift "Korrespondenz Wasserwirtschaft" 09/19 mit dem Titel "Bewässerung 4.0: ein möglicher Ansatz zur weiteren Optimierung der Bewässerung"

Bewässerungsfeldtag am 29.05.19 auf dem Gelände der DLG in Strenzfeld mit Präsentation

AGRITECHNICA 10.11.19 bis 16.11.19

Vortrag auf der AGRITECHNICA am 12.11.19 "Wenn die Sonne Wasser bringt. Modellgestützte Bewässerung mit Solarbetrieb"

Vortrag in Salzburg auf dem Workshop zum Thema "Landwirtschaft im Klimawandel" am 06./07.06.19 (Workshop der DVS)

Präsentation auf der Internetseite der DLG zu den digitalen Feldtagen Mai 2020

<https://www.dlg-feldtage.de/de/feldtage-digital/neues-aus-dem-ipz>

Poster erstellt am 04.08.2020 - Innovationsdienstleister für EIP-AGRI Sachsen-Anhalt

Artikel in der MZ am 06.08.2020 mit dem Titel "Zukunft mit Tröpfchen"

Öffentlichkeitsarbeit: Artikel im Auftrag der Investitions- und Marketinggesellschaft Sachsen-Anhalt (IMG) für Newsletter Report Invest (<http://Investieren-in-sachsen-anhalt.de>)

Titel: "Höherer Ernteertrag mit weniger Wasser"

KTBL-Tagung Kurzvorstellung IrriMode

Tagungsband, Seite 231, 2021-03-01

Fachartikel in der Zeitschrift von Saluplanta e.V. dem Verein für Arznei- und Gewürzpflanzen in 3.Ausgabe 2021 mit dem Titel:

"Solarbetriebene Tropfbewässerung mit Echtzeitsteuerung - ein Beitrag für eine ressourcenschonenden Wasserversorgung in der Pflanzenproduktion"

Vortrag vor örtlichen Behörden, Planungsbüros, Gemüseproduzenten, Thema: "Nachhaltiges Wassermanagement in der Region" mit Feldbesichtigung am 06.10.2021

Workshop am 23.06.2022 in Strenzfeld auf den Bernburger Innovationstagen

Bewässerungsfeldtag am 27.09.2022 in Baasdorf vor polnischen Landwirten und Fachleuten aus der Bewässerungsbranche

4.3 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

Die bisher im Projekt erzielten Ergebnisse bedeuten nicht den Abschluss der Tests und Untersuchungen. Es könnte in wissenschaftlicher Hinsicht an den Modellen zum Bewässerungsbedarf für weitere Kulturen geforscht werden. Der Wasserbedarf von Pflanzen ist recht unterschiedlich, so dass die Parameter (Blattflächenindex, Entwicklungsstadien, Durchwurzelungstiefe) für die Pflanzenwachstumsmodelle in Form von Datensammlungen definiert werden könnten, die bei Bedarf für den Standort lediglich angepasst werden müssen.

Des Weiteren sind die Untersuchungen nicht abgeschlossen, über die Tropfberegnung zusätzlich Dünger einzuspeisen, um die Nährstoffversorgung der Pflanze zu optimieren und mit reduzierter Wasserzufuhr Erträge zu sichern. Hier spielen die klimatischen Bedingungen, Bodeneigenschaften und generelle Wachstumsbedingungen eine entscheidende Rolle, die sich im Zuge des Klimawandels stetig ändern.

Die Tropfer der Bewässerungsanlage setzen sich mit der Zeit zu und funktionieren nicht mehr. Überlegungen waren dahingehend, die Anlage mit verschiedenen Lösungen z.B. Ameisensäure zu spülen. Das funktioniert nicht, wenn die Tropfberegnungsanlage aufgebaut ist und auf der Fläche

Kulturpflanzen stehen. Es müssten Mittel zur Verfügung stehen, die pflanzenverträglich sind und die Tropfrohre sowie Tropfer reinigen. Dies trifft vor allem für wiederverwendbare Tropfrohre zu. Gibt es keine Lösung und die Tropfrohre verschleiß zu schnell, ist es wirtschaftlich günstiger einmal verwendbare Tropfrohre zu verwenden, was allerdings nicht ökologisch ist.

Der wirtschaftliche Erfolg im Projekt ist vielversprechend im Vergleich zu den herkömmlichen Produktionsverfahren. Die hohen Kosten für z.B. die Tropfberegnungsanlage, Solarpumpensystem müssen sich über die Stabilisierung der Erträge und lange Laufzeiten der Anlage amortisieren. Hier ist zu untersuchen, mit welchen Maßnahmen die Beregnungsanlagen in Funktion gehalten werden können. Neuere und bessere Filtersysteme könnten dabei helfen, qualitativ schlechtes Wasser so für die Beregnung aufzubereiten, dass die Pumpensysteme nicht zerstört werden und Tropfer in den Tropfrohren sich nicht zu schnell zusetzen. Die Laufzeitverlängerung der Anlagen lässt das teurere Anschaffung wirtschaftlicher werden.

Es könnte in Zukunft untersucht werden, welche Kulturen neben Weizen, Soja und Möhren lassen sich mit der bestehenden Bewässerungstechnik ohne großen zusätzlichen Aufwand oder Investition in weitere Produktionstechnik noch kultivieren. Es sollten Kulturen sein, die wirtschaftlich sind, in den Betriebsablauf passen und die regionale Angebotskette unterstützen bzw. erweitern.

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Obwohl das Projekt mit zeitlicher Verzögerung begann, konnten alle geplanten Arbeiten im ersten Projektjahr termingerecht durchgeführt werden. In den darauffolgenden Jahren spielte sich der Ablauf und Reihenfolge der zu tätigenen Projektarbeit ein. Die Projektpartner stimmten sich gut ab, wann welche Arbeiten erledigt werden müssen und wo Zuarbeiten notwendig sind. Im Vordergrund standen der Wissenstransfer und die Unterrichtung der Partner im fachlichen Austausch. Softwareschulungen halfen den Partnern die Zusammenhänge zwischen Pflanze und Boden zu verstehen, um daraus eigene Schlüsse für eine optimale Bewässerung zu ziehen.

Die Idee etwas Neues auszuprobieren, zog sich durch das ganze Projekt hindurch. Das Solarpumpensystem wurde erstmalig in Strenzfeld etabliert und arbeitete souverän während der Bewässerungssaison. Die Kulturen Weizen und Soja bekamen ausreichend Wasser und konnten eine deutliche Ertragssteigerung aufweisen gegenüber der unbewässerten Varianten. Das solargesteuerte Bewässerungssystem von einer 1 ha großen Versuchsfläche auf eine 3,5 ha tropfbewässerte Praxisfläche zu übertragen, war eine Herausforderung für die Partner in punkto hydraulischer Planung und Leistungsberechnung des Solarpumpensystems. Auch dies ist sehr gut gelungen. Einen Rückschlag gab es leider bei der Wassernutzung aus einem Brunnen mit viel zu geringer Leistung. Der Lösungsansatz war einen Zwischenspeicher von 30 m³ zu verwenden, der half, die Wasserbereitstellung zeitlich zu strecken und die Tropfberegnungsanlage mit dem geringen Eigendruck von 0,6 bar bei Pumpenausfall zu bewässern. Das zeigt, dass immer wieder Lösungswege gesucht wurden, um das Projekt voranzubringen und weiterzukommen. Ein Totalausfall der Möhren hätte ein Jahr Projektzeit auf der Praxisfläche gekostet. Das letzte Projektjahr verlief suboptimal für die Möhrenfläche, da Dürre und Ausfall der Solarpumpe in der Keimungs- und Wachstumsphase, die Vollautomatisierung der Bewässerung über die Modellierung mit Echtzeitdaten vom Wetter und

Boden behinderte. Ein starrer Bewässerungsplan steuerte die Beregnung, als die Solarpumpe wieder funktionierte. Hier war nur noch das Ziel, die Fläche, wenn auch nicht ausreichend, zu bewässern. Die Bestände in Strenzfeld unterlagen nicht diesen Bedingungen und konnten problemlos geführt werden. Die solargestützte, vollautomatisierte Bewässerung lief im letzten Jahr und konnte zeigen, dass das System mit MIKE OPERATION funktioniert. Leider lässt sich die vollautomatisierte Beregnungssteuerung nicht ohne Expertenwissen in der Software und Programmierkenntnissen replizieren. Die Modelle müssen für jeden Standort neu erstellt und angepasst werden.

Über die Projektförderung EIP-Agri sind Unternehmen in der Lage, Investitionen zu tätigen, bei denen ein Risiko für die Tauglichkeit im Unternehmen besteht und auftretende Probleme in der Praxis mit wissenschaftlicher Begleitung zu beleuchten und zu untersuchen sind. Es kommen mehrere Partner aus verschiedenen Branchen der Wirtschaft und Wissenschaft zusammen, die das Problem erkennen und gemeinsam Lösungen finden. Die daraus entstandene Innovation wird nicht nur in den eigenen Firmennetzwerken weitergegeben, sondern über das Netzwerk EIP-Agri verbreitet. Vorteilhaft ist die Unterstützung, die von EIP-Agri ausgeht und vom Innovationsdienstleister, der in operationellen Fragen kompetent weiterhelfen kann.

Ein Nachteil ist der sehr hohe bürokratische Aufwand in der Abrechnung und bei der Finanzierung des Projektes, da finanzstarke Projektpartner die Vorfinanzierung der anfallenden Kosten übernehmen müssen und die Gelder erst mit langer Verzögerung ausgezahlt werden. Hier wäre es von Vorteil, die Abrechnungsverfahren zu vereinfachen und einen Fragenkatalog mit den wichtigsten Eckpunkten, Bestimmungen und Beispielen zu erstellen, um der OG bzw. dem Leader die Formalitäten in der Abrechnung zu erleichtern.

6 Literaturverzeichnis

- Butz, A. (2016): Beregnung von Soja - wann lohnt sich das?. LTZ Augustenberg- Außenstelle Rheinstetten-Forchheim. <https://www.sojafoerderrring.de/wp-content/uploads/2013/12/Sojabew%C3%A4sserung-Butz-Internet.pdf>
- Bockholt, K. (2021): Wo Beregnung wirklich lohnt: 5 Faktoren zur Wirtschaftlichkeit. agrarheute 1/2021, S. 28-30. <https://www.agrarheute.com/pflanze/getreide/beregnung-wirklich-lohnt-5-faktoren-wirtschaftlichkeit-576956>
- De Witte, Th. (2018): Wirtschaftlichkeit der Feldbewässerung. Thünen-Working Paper 85, S. 113-123. file:///C:/Users/deubel_a/Downloads/ThuenenWorkingPaper_85.pdf
- Fricke, E. (2020): So steigen Sie in die Beregnung ein. DLG-Mitteilungen 5/2020, S. 58-61.
- Gödecke, H. (2022): Wann ist Beregnung wirtschaftlich? Land&Forst. <https://www.landundforst.de/landwirtschaft/pflanze/beregnung-wirtschaftlich-567290>
- IPZ (2017): Systemvergleich Bewässerung. Abschlussbericht 2014-2017. https://www.dlg-ipz.de/fileadmin/downloads/Abschlussbericht_Bewaesserung_2014-2017.pdf
- Meinert, T., Frühauf, C., Plückhahn, B., Brömser, A. (2022): Die Trockenheit in Deutschland im Sommer 2022 aus agrarmeteorologischer Sicht. https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/duerre/20220811_trockenheit_sommer_2022.pdf;jsessionid=775BA1175BC5F9A8325546A3127D4773.live11054?blob=publicationFile&v=2
- Müller, M., Ebertseder F. (2020): Fachliche Grundlagen zur Bewässerungs-App, Teil 2: Bodenart und Verteiltechnik bezogene Kennzahlen. In: Bewässerungsforum Bayern, Ausgabe 1-4/2020, Hrsg. ALB Bayern e.V., www.alb-bayern.de/bef3

Müller, M., Zinkernagel, J., Kleber, J., Fricke, E., Beck, M., Göttl, M. (2020): Fachliche Grundlagen zur Bewässerungs-App, Teil 1: Kulturartbezogene Kennzahlen. In: Bewässerungsforum Bayern, Ausgabe 1 -4/2020, Hrsg. ALB Bayern e.V., www.alb-bayern.de/bef2

Riedel, A., Fricke E. (2020): Beregnung – Potentiale zum Wassersparen nutzen. https://www.lwk-niedersachsen.de/lwk/news/35553_Beregnung_Potentiale_zum_Wassersparen_nutzen