



Bayerische Landesanstalt für
Weinbau und Gartenbau



Forschungsprojekt

„Optimierung der Bewässerungssteuerung für den Freilandgemüseanbau im Knoblauchsland“

Zwischenbericht 2009

Dipl.-Ing. Gartenbau (FH) Florian M. Hageneder

Versuchszeitraum: November 2008 - Dezember 2011

Institution: Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau

Projektleitung: Gerd Sander

Betreuer: Florian Hageneder
Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
Jahnstr. 7
90763 Fürth
Tel.: 0911/99715-410
Fax: 0911/99715-444

gefördert durch:

Bayerisches Staatsministerium für
Ernährung, Landwirtschaft und Forsten



Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG.....	3
2	MATERIAL UND METHODEN AM STANDORT NÜRNBERG	3
2.1	Wahl des Betriebes	4
2.2	Leitungen und Zubehör	4
2.3	Steuerung	5
2.4	Sensoren	6
2.5	Datenerfassung	7
3	MATERIAL UND METHODEN AN DEN STANDORTEN NIEDERBAYERN	9
3.1	Wahl der Betriebe	10
3.2	Leitungen und Zubehör	10
3.3	Steuerung	11
3.4	Sensoren	11
3.5	Datenerfassung in Endlau, Rottersdorf und GEO	13
4	ERGEBNISSE.....	13
4.1	Nürnberg.....	14
4.2	Niederbayern	15
4.2.1	Watermarksensoren und Tensiometer GEO	15
4.2.2	Tensiometer und SIS in Endlau und Rottersdorf.....	17
4.3	Zusammenfassung der Ergebnisse einer Meisterarbeit zum Thema	18
4.4	Ergebnisse der Diplomarbeit von Herrn Christoph Seifried	19
5	SCHWIERIGKEITEN UND LÖSUNGSANSÄTZE.....	22
5.1	Bauteile.....	22
5.2	Akzeptanz	23
6	VERBESSERUNGEN 2010	23
6.1	Nürnberg.....	23
6.2	Standort Rottersdorf	24
6.3	Standorte GEO.....	24
7	AUSBLICK	24
8	DANKSAGUNG	27
9	QUELLENVERZEICHNIS:	27
10	TABELLEN UND ABBILDUNGSVERZEICHNIS	28

1 Einleitung

Nach Ende der Versuchssaison 2009 im Bewässerungsprojekt Knoblauchsland werden nun erste Tendenzen und Ergebnisse aus der praktischen Arbeit vorgestellt. Das vorrangige Ziel dieses Forschungsvorhabens bleibt nach wie vor praxistaugliche Steuer- und Kontrollmöglichkeiten für die künstliche Bewässerung zu finden und so den Einsatz von Wasser als Produktionsmittel weiter zu quantifizieren. Die momentan noch geringen Wasserpreise und die gute Verfügbarkeit des Beregnungswassers in den Anbaugebieten Niederbayern und Nürnberg erschweren allerdings die Bereitschaft der Landwirte den tatsächlichen Bedarf an Zusatzwasser für ihre Kulturen genauer zu ermitteln. Zukünftig eventuell strengere Auflagen durch den Gesetzgeber, klimatische Veränderungen in Deutschland, sowie pflanzenbauliche Vorteile für viele Gemüsekulturen im Freiland werden jedoch voraussichtlich eine Ausweitung der Bewässerung mit Tropfschläuchen, sowie einer exakten Messung der Bodenfeuchte mit Sensoren zur Folge haben. Die optimale Ausnutzung deren Potenzials kann aber nur durch optimal gesteuerte Anlagen geschehen. Die folgenden Ausführungen geben eine Übersicht über die momentanen technischen Möglichkeiten, Schwierigkeiten, Vor- und Nachteile von sensorunterstützten Tropfbewässerungsanlagen.

2 Material und Methoden am Standort Nürnberg

In Abhängigkeit der kultivierten Feldfrucht, Bodenart und Vorstellung der Betriebsleitung, sowie der Infrastruktur am Feld können unterschiedliche Systeme für die Zusatzbewässerung installiert werden. Auch die preislichen Unterschiede können helfen, sich für, oder gegen eine Variante zu entscheiden. Ein ökonomisch handelnder Landwirt wird demnach in vielen Fällen Kompromisse im Punkte Qualität des Materials treffen müssen und Zusatzkosten so gering wie möglich halten. Diese Tatsache ist auch bei Vorgesprächen immer wieder deutlich geworden. Vor allem im Freilandgemüseanbau sind die Deckungsbeiträge vergleichsweise gering und können die erhöhten Investitionen in eine Tropfbewässerungsanlage schlechter abfangen. Teure, druckkompensierte und mehrjährige Tropfschläuche wären zwar unter Umständen umweltfreundlicher und genauer bei der Ausbringung des Wassers auf große Feldlängen. Die Akzeptanz beim Praktiker für eine solche Lösung würde aber sehr schnell schwinden und der bayernweiten Ausbreitung von Tröpfchenbewässerungsanlagen wahrscheinlich wenig zuträglich sein.

2.1 Wahl des Betriebes

Herr Fritz Boss erklärte sich im Jahr 2008 gerne bereit, einen Teil seiner Anbaufläche in Nürnberg-Almoshof mit Tropfbewässerung auszustatten. Der Betriebsleiter gilt bei seinen Kollegen außerdem als innovativ, zuverlässig und somit gut geeignet partnerschaftlich Versuche bei ihm durchzuführen. Herr Boss kultiviert in den Sommermonaten hauptsächlich Eissalat auf seinen Flächen. Gerade bei Salaten im Freiland tauchen immer wieder Probleme bei der Qualität der Verkaufsware auf. Vor allem Bakterien und Pilze können sich unter feuchtwarmen Bedingungen, wie sie bei einer Überkopfberegnung häufig im Bestand entstehen, sehr schnell vermehren. Die Folgen sind ein erhöhter Aufwand an Pflanzenschutzmaßnahmen und die damit verbundenen Probleme mit Rückstandshöchstmengen und Arbeitsaufwendungen. Eine Bewässerung direkt über die Wurzeln kann hier ihre Vorteile ideal ausspielen. Daher fiel die Entscheidung schnell, hier eine Tropfbewässerungsanlage zu etablieren. Damit eventuelle Unterschiede beider Bewässerungsvarianten noch deutlicher erkennbar werden, entschieden sich die Beteiligten zwei nebeneinander liegende Teilflächen einzurichten.

2.2 Leitungen und Zubehör

Ein Teilstück wurde konventionell mit Sprinklern beregnet, auf dem zweiten Teilstück erfolgten die Wassergaben mittels Tropfschläuchen. Die Wasserverteilung wurde bei der Tropfbewässerung mit 1 1/2“ PE-Rohren und Anbohrschellen realisiert. Der Tropfabstand betrug 20 cm, die Durchflussrate lag bei 0,65 l/h. Die Kreisregner erhielten das Wasser über Perrot-Stahlrohre. (siehe Abbildung 1)



Abbildung 1: PE- Verteilleitung [1]

Fast das gesamte Knoblauchsland wird über ein Verbandsnetz mit Wasser versorgt. Mehrere im Gebiet verstreute Pumpwerke bedienen die einzelnen Hydranten an den Feldrändern mit permanentem Druck von 5 - 8 bar, je nach Beregnungsintensität. Dies ermöglicht theoretisch eine leichte Vollautomatisierung der Bewässerung, weil weder Dieselpumpen noch besondere Ventile separat angesteuert werden müssen. Auch frühere Einschränkungen in den Beregnungszeiten gelten seit der Modernisierung des Wassernetzes nicht mehr. Jedes Mitglied kann nun den Start und Endpunkt der Wassergaben frei wählen.

2.3 Steuerung

Um eine hohe Flexibilität des Bewässerungsmanagements zu gewährleisten, wurde die Hauptleitung am Feldrand in zwei Untereinheiten mit jeweils einem Magnetventil und dazugehörigem Steuercomputer ausgestattet (siehe Abbildung 2). Beide Computer verfügen außerdem über die Anschlussmöglichkeit eines Tensiometers, welches die eingegebenen Bewässerungsprogramme bei Erreichen voreingestellter Schwellenwerte unterbrechen kann. Diese Situation kann bei einem Niederschlagsereignis, oder bei zu langen Bewässerungszeiten eintreten. Unabhängig von der automatischen Steuerung können die Ventile, zum Beispiel in Notsituationen wie Leitungsbrüchen, auch per Handsteuerung bedient werden.



Abbildung 2: Magnetventil mit Steuercomputer [1]

2.4 Sensoren

Nach diversen Gesprächen mit Herstellern von Bodensensoren und Fachleuten der Bewässerungssteuerung stellte sich heraus, dass der Einsatz von flüssigkeitsgefüllten Tensiometern für die Messungen in intensiver beregneten Feingemüsekulturen am geeignetsten sind. Sie reagieren sehr schnell auf Austrocknungs- und Befeuchtungssituationen und sind daher die beste Wahl für permanente Aufzeichnungen. Der Sensorkopf hat einen Messbereich von 0 - 1000 hPa. Die Obergrenze wird im Salatanbau aber in der Regel nie erreicht, da bei sehr hohen Werten Schäden an den Pflanzen, verursacht durch Trockenstress, zu befürchten sind. Diese Fühler haben jedoch einen Nachteil. Bei dauerhaft höheren Saugspannungswerten (2 - 3 Wochen über 300 hPa) [1] tritt Wasser aus dem Tensiorohr aus, was wiederum zu falschen Messwerten führt.

Der Landwirt sollte daher mindestens einmal pro Woche die Wasserstände kontrollieren und gegebenenfalls den Sensor nachfüllen. Weiterhin sind beim Einbau mehrere Dinge zu beachten um richtige und aussagekräftige Werte im Bestand zu erhalten.

1. Bohrloch für das Tensiomterrohr senkrecht stechen und sauber vorbereiten. Dabei ist darauf zu achten das natürliche Bodengefüge so wenig wie möglich zu beeinflussen.
2. etwas gut homogenisierte Bodenschlämme, für den sichern Bodenschluss zwischen Keramik und Umgebung, in das Bohrloch schütten. Lufteinschlüsse beeinflussen das Messergebnis negativ.
3. Tensiomter direkt unterhalb der Tropfstelle einsetzen.
4. Tensiomter vorsichtig in das Bohrloch drücken.
5. Rohr bis zur Oberkante mit destilliertem Wasser füllen. Dies verringert die Algenbildung.
6. Tensiomter nicht in einem Bodentrichter oder einer Erhöhung einsenken, damit möglichst realistische Versickerungsvorgänge aufgezeichnet werden können.
7. Dichtungen und Gewinde am Sensorkopf auf Verschmutzung und Beschädigungen prüfen.
8. Sensorkopf handfest aufschrauben.

Im Feld sollten minimal drei Sensoren in unterschiedlichen Tiefen vergraben sein. Dadurch können Versickerungsvorgänge oder unzureichende Wassergaben beobachtet und somit auf falsche Gabenhöhen reagiert werden. Abbildung 3 zeigt den praktischen Einsatz von Tensiometern in der Versuchsfläche.



Abbildung 3: Tensiometer mit Verlängerungskabel im Knoblauchsland

2.5 Datenerfassung

Zur permanenten Erfassung der Klima- und Bodenfeuchtwerte werden zwei Wetterstationen des agrarmeteorologischen Messnetzes der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft am Standort Nürnberg eingesetzt. Sie verfügen jeweils über einen, via Internet oder Notebook mit passender Schnittstelle, frei programmierbaren Datenlogger. An diesem können maximal acht Sensoren mit analogem Eingang zur Datenerfassung angeschlossen werden. Dadurch wird eine hohe Spannweite an überprüfbaren Sensoren erreicht. Die Messintervalle und Aufzeichnungszeiten sind ebenfalls frei einstellbar. So kann je nach Datenmenge ein mehr oder weniger großer Zeitraum dargestellt werden. Zudem ist eine der beiden Stationen mit einem Sensor zur Messung der Globalstrahlung, einem Wind- und einem Niederschlagsgeber, sowie einem Messinstrument zur Ermittlung der Temperatur und Luftfeuchte ausgestattet (siehe Abbildung 4). Das macht es möglich, Wasserbilanzrechnungen (Geisenheimer Modell) anzustellen, oder Prognosemodelle für Pflanzenkrankheiten zu errechnen. Beides wurde in der ersten Versuchssaison noch nicht berücksichtigt.

Auch ist es möglich digitale Wasseruhren mit der Station zu verbinden. Bewässerungsvorgänge und deren Auswirkungen auf die Saugspannung können so sichtbar gemacht und für spätere Überprüfungen ebenfalls abgespeichert werden.



Abbildung 4: Wetterstation zur Klimaerfassung [1]

Alle Daten werden mittels GSM-Modem an einen PC übertragen und können mit Hilfe eines Programms grafisch dargestellt werden. Näheres dazu folgt im Ergebnisteil.

Die Stromversorgung der Datenlogger und Sensoren stellt ein 35 Watt Solarpanel mit angeschlossenem 12 V-Akku sicher. So kann die Datenspeicherung auch während der Nacht und bei bedecktem Himmel einige Tage aufrechterhalten werden.

Während der Freilandsaison sind viele Anbauer fast ausschließlich auf ihren Feldern unterwegs. Das macht es zwingend notwendig die Tensiometer zusätzlich mit ablesbaren Messköpfen auszustatten. Entweder digital per Knopfdruck, oder manuell mit einem Manometer wird die aktuell gemessene Saugspannung ausgegeben. Abbildung 5 und 6 zeigen zwei von vielen möglichen Varianten, die der Markt momentan anbietet.



Abbildung 5: digitaler Messkopf [1]



Abbildung 6: manueller Messkopf [1]

Dieser Wert ist ohne die Kenntnisse über den Wasserhaushalt des jeweiligen Bodens jedoch wenig hilfreich. Erst der Zusammenhang zwischen nutzbarer Feldkapazität und Saugspannung gibt Aufschluss über benötigtes Zusatzwasser. Aus Gründen des Umfangs wird in diesem Bericht auf eine Interpretation dieser Werte verzichtet. Nützliche Angaben können aus einschlägiger Fachliteratur entnommen werden.

3 Material und Methoden an den Standorten Niederbayern

Eine Vollautomatisierung der Bewässerung wie im Knoblauchsland ist aus folgenden Gründen in Niederbayern nur mit viel Aufwand durchführbar, außerdem zumeist in der Praxis nicht erwünscht.

- Erstens müssten nicht nur Ventile über einen Computer oder Sensor angesteuert werden, sondern zusätzlich die Dieselpumpen am Feld, welche das Beregnungswasser zu Tage fördern. Hydranten wie in Nürnberg sind in Niederbayern nicht zu finden. Dadurch wären elektrische Startvorrichtungen an den Dieselaggregaten und Steuerrelais erforderlich.
- Zweitens wollen die meisten Anbauer vor Ort über Bewässerungsmassnahmen entscheiden und dabei Rücksicht auf Wetterprognosen nehmen.
- Ein drittes und ebenso wichtiges Argument gegen eine Automatisierung der Bewässerungssteuerung in Niederbayern ist der begrenzte Vorrat an Kraftstoff im Tank der Dieselaggregate. Sollte er ohne das Wissen des Anbauers zur Neige gehen, unterbleibt ebenso die Bewässerung. Auch hier wären automatische Warnmeldungen an den Landwirt nötig.

3.1 Wahl der Betriebe

Herr Hans Esterl stellte aus zweierlei Hinsicht den idealen Versuchspartner dar. Bereits Jahre vor dem Projekt zur Bewässerungsoptimierung stand Herr Esterl in engem Kontakt mit dem damaligen Professor der Fachhochschule Weihenstephan Dr. Frenz, einem der Begründer des Tensiometereinsatzes im Feldgemüseanbau. Dadurch konnte er früh Erfahrungen mit der Messung der Bodenfeuchte erlangen und war dem Vorhaben gegenüber von Anfang an sehr aufgeschlossen. Ein weiterer Grund, genauere Untersuchungen in Rottersdorf durchzuführen, war eine der Hauptkulturen, die Zwiebel. Der vom AELF Landau 2009 parallel durchgeführte Versuch mit 30 verschiedenen Sorten gab zusätzlich die Gelegenheit unterschiedliche sortenspezifische Reaktionen bei der Zusatzbewässerung zu erfassen. Es müssten sich bei optimierter Bewässerungssteuerung Ertrags- und Qualitätssteigerungen ergeben und Verbesserungen im Lagerverhalten auftreten. Dies bestätigten teilweise auch führende Hersteller von Düngemitteln und Bewässerungsanlagen, wie sich in vielen Fachgesprächen herausstellte. Dabei waren je nach Sorte mehr oder weniger starke Einflüsse zu erwarten.

Auch Herr Wienetsdorfer aus Endlau bei Osterhofen war an dem Vorhaben sehr interessiert. Hauptkultur im Betrieb ist Salat. Die Beregnung erfolgt Über-Kopf mit Kreisregnern. Diese Variante deckte ein weiteres wichtiges Glied für das Vorhaben ab. Ziel sollte sein, die Bodenfeuchte in Abhängigkeit der Beregnung zu beobachten und eventuell Empfehlungen an Herrn Wienetsdorfer zu geben.

Als letzte Mitwirkende der Außenversuche galten einige Mitglieder der Gurkenerzeugerorganisation (GEO) Bayern. Schon längere Zeit war es ihnen ein Anliegen die Bewässerung und Fertigation bei Einlegegurken zu optimieren. Bisherige Bemühungen, dies mit Wetterstationen eines privaten Anbieters zu bewerkstelligen, waren oft weniger erfolgreich. Mithilfe der LWG wurde gezielt nach den Gründen für ungenaue Messungen gesucht und den Mitarbeitern der GEO, allen voran Frau Kathrin Apfelbeck Hilfestellung gegeben.

3.2 Leitungen und Zubehör

Bei Herrn Hans Esterl befand sich in den Jahren vor 2009 keine Wetterstation zur Aufzeichnung der Boden- und Klimawerte. Zusammen mit Herrn Kerscher (LfL) wurde daraufhin diese Möglichkeit eingerichtet. Tropfleitungen waren allerdings bereits auf dem Betrieb vorhanden, die wieder verwendet werden konnten.

Da die Zwiebelsamen zu Beginn der Aufbauarbeiten bereits aufgelaufen waren, konnte eine Unterflurverlegung der Schläuche nicht mehr durchgeführt werden.

Also wurden pro Beet und sechs Reihen jeweils drei Tropfschläuche per Hand verlegt und nach 30 Metern verschlossen. Ihre Durchflussrate lag bei 1,5 l/h bei einem Tropfabstand von 40 cm. Als Wasserversorgung diente die in der angrenzenden Scheune befindliche Hauswasserleitung. Die Fördermenge des Anschlusses war jedoch sehr begrenzt, weshalb man die 30 Beete in 3 Untereinheiten zu je 10 Beeten aufteilte und am Feldrand eine $\frac{3}{4}$ “ PE-Leitung installierte. Die Tropfer wurden mit insgesamt 90 Anbohrschellen angeschlossen.

3.3 Steuerung

Da die betroffenen Versuchsfelder in Niederbayern über Dieselpumpen mit Beregnungswasser versorgt werden können, ist eine Automatisierung der Bewässerung hier kaum möglich. Aus diesem Grund wird eine Steuerung der Zusatzberegnung auch in Zukunft nur mit Warnmeldungen per SMS, der klimatischen Wasserbilanz, oder Messwerten der Bodenfeuchte praktikabel sein. Alle Starts müssen folglich manuell durch eine Arbeitskraft erfolgen.

3.4 Sensoren

In Rottersdorf und Endlau wurden zusätzlich zu Tensiometern, wie sie auch in Nürnberg verwendet wurden, zwei SIS-Sensoren eingesetzt. Diese, ähnlich den Watermark-Sensoren aufgebauten und wartungsfreien Messfühler wurden jeweils neben einem Tensiometer in der gleichen Messtiefe vergraben (Abbildung 7 und 8). So konnten Rückschlüsse auf die Messgenauigkeit gezogen und beide Systeme gegeneinander geprüft werden. Bei den Sensoren vom Typ Watermark handelt es sich um eine Art abgewandelten Gipsblock. Innerhalb des Keramik-Messkörpers sind Elektroden eingebettet. Ist der Boden und somit auch die Messzelle feucht, liegt eine andere Spannung als in trockenem Zustand an. Nach einer Umrechnung gibt der Sensor schließlich hPa als Messwert aus.



Abbildung 7: SIS-Sensor [3]



Abbildung 8: Watermark-Sensor [4]

An den zur Gurkenerzeugergemeinschaft gehörigen Standorten Neusling, Isargäu und Steinbeßen kamen Tensiometer einer etwas anderen Bauart zum Einsatz. Sie wurden aufgrund vergangener Messfehler der Watermarks eingesetzt um eventuell verlässlichere Werte der Bodenfeuchte zu erhalten. Abbildung 9 zeigt eines dieser Tensios in einem Einlegegurkenfeld. Die Eignung für weitere Versuche wird später genauer beleuchtet.

Unterdruck – Messkopf
mit Kabelanschluss

Tensiometerrohr

Keramikerze



Abbildung 9: Tensiometer der GEO [1]

3.5 Datenerfassung in Endlau, Rottersdorf und GEO

Wie auch in Nürnberg, stehen an den Standorten Endlau und Rottersdorf Wetterstationen der LfL. Zur Übertragung der Messdaten dient auch hier ein integriertes GSM-Modem. Zusätzlich könnte der Landwirt alle Werte an der Station, oder an den Fühlern ablesen und bei Interesse auch ein analoges, externes Modem an den Betriebsrechner angeschlossen werden, welches dann den Zugriff auf die Daten ermöglicht.

Momentan nutzen einige Mitglieder der Gurkenerzeugerorganisation (kurz GEO) Wetterstationen eines privaten Anbieters und daran angeschlossene Sensoren für die Messung der Bodenfeuchte, der Temperatur und Luftfeuchte und der Globalstrahlung (Abbildung 10). Diese Stationen verfügen nicht über die Möglichkeit der freien Sensorwahl. Es müssen Sensoren aus dem speziellen Angebot der Firma verwendet werden. Die Daten werden auf einer österreichischen Internetseite gespeichert, zu der ein kostenpflichtiger Zugang für den Datenabruf erforderlich ist.



Abbildung 10: Wetterstation der GEO [1]

4 Ergebnisse

Folgende Kapitel stellen die Ergebnisse aus 2009 dar. Die verzögerte Einsatzbereitschaft der LfL Wetterstationen, bedingt durch Arbeitsauslastungen der LfL-Mitarbeiter gibt leider keine über das ganze Jahr zusammenhängende Messreihe. Lediglich Ausschnitte werden gezeigt, die Eindrücke über die Ausgabe der Messungen am PC geben.

Die diesjährige Testphase erzielte aber bereits gute Einblicke über die Praktikabilität und Zuverlässigkeit der Sensorik. Dadurch wird es in den nächsten beiden Versuchsjahren sicherlich möglich werden, schnellere und sichere Werte an den Landwirt weiterzugeben und die Bewässerung genauer auf die aktuell ermittelten Saugspannungswerte abzustimmen. Zusätzliche Untersuchungen eines Meisterschülers an der staatlichen Fachschule für Agrarwirtschaft Fürth und des eigens für das Projekt gewonnenen Diplomanden erweitern das Spektrum der Sensorprüfungen und ergeben ein umfassendes Gesamtbild für 2010.

4.1 Nürnberg

Die Beobachtungen in Nürnberg beschränkten sich weitgehend auf die praxisrelevanten Parameter Erntemenge und Qualität. Es wurden die beiden letzten von insgesamt drei Sätzen im Frühjahr Sommer und Spätsommer/Herbst untersucht. Die am 15.07.09 abgeerntete Versuchsfläche (zweiter Satz) lieferte auf der Seite mit Tropfbewässerung 8316 und auf der Seite mit Über-Kopf-Beregnung 8286 marktfähige Köpfe. Ein qualitativer Unterschied zwischen den beiden Varianten war zu diesem Zeitpunkt nicht erkennbar. Dies hängt vermutlich mit der hohen Intensität der Niederschläge während der Wachstumsphase zusammen, die etwa 80 % des benötigten Gesamtwasserbedarfes bereitstellte. Qualitätsunterschiede durch unterschiedliche, künstliche Wassergaben traten dadurch nicht zutage. Die zusätzlichen Gaben beziehen sich jeweils auf eine Fläche von 1920 m² und wurden wie folgt verabreicht.

Tropfbewässerung:

29.05.09	60 m ³ (Anwachsphase)
31.05.09	45 m ³
01.07.09	45 m ³
Gesamte Wassermenge	150 m³

Die großen Wassermengen zu Beginn der Kultur (60m³) waren erforderlich, um einen kapillaren Aufstieg des Wassers bis zum Pflanztopf sicherzustellen. In der Praxis wird dafür direkt nach der Pflanzung die Tropfbewässerung mehrere Stunden, in Abhängigkeit der Bodenbeschaffenheit und der Leistung der Tropfschläuche, in Betrieb genommen. Das Einsparpotenzial der Tropfbewässerung im Vergleich zur Über-Kopf-Beregnung, dargestellt in nachfolgender Tabelle wird dadurch etwas geschmälert. Durch hohe Niederschlagswerte während der Kulturphase konnte dieser Verlust durch die wassersparendere Tropfbewässerung nicht wieder kompensiert werden.

Über-Kopf-Beregnung:

28.05.09	18,6 m ³
31.05.09	11,5 m ³
02.06.09	11,5 m ³
05.06.09	18,6 m ³
16.06.09	24,8 m ³
20.06.09	24,8 m ³
01.07.09	24,8 m ³
Wassermenge gesamt	134,6 m³

Beide Varianten verglichen ergeben einen Mehrverbrauch der Tropfbewässerung im Vergleich zur Kreisberegnung von etwa 10 %. Im dritten Satz konnte dieses negative Ergebnis allerdings nicht bestätigt werden. Hier ergab sich eine Wasserersparnis von 21 %. Damit wurden erstmalig Werte erreicht, wie sie auch in der Literatur [3] wieder zu finden sind. Dort wird eine maximal mögliche Einsparung von 30 % unter durchschnittlichen Witterungsbedingungen als realistisch angesehen.

4.2 Niederbayern

Alle Wetterstationen in Niederbayern liefen ebenso störungsfrei wie in Nürnberg und ohne Ausfälle der Stromversorgung. Auf den Gurkenfeldern der GEO kam es zu Ausfällen einzelner Messfühler durch unsachgemäße Installation und Zerstörung bei Erntearbeiten. Die Reparatur gestaltete sich aber einfach.

4.2.1 Watermarksensoren und Tensiometer GEO

Die Erzeugerorganisation setzt seit 2 Jahren auf Tensiometer zur Überwachung der Bodenfeuchte und zum Vergleich mit den Watermarks auf den Feldern ein. Auch hier ist das Ergebnis weniger zufrieden stellend als erwartet. Immer wieder kam es zu Messausfällen, wahrscheinlich bedingt durch Undichtigkeiten am Sensorkopf. Nach Tests im Winter mit zusätzlichen Gummidichtungen scheint das Problem behebbar zu sein. Trotzdem werden alle bisherigen Tensios durch eine neuere Bauart ersetzt, deren Konstruktion verbessert worden zu sein scheint, so Herr Dr. Mosler nach einem Telefonat am 30.10.09.

Abbildung 12 macht deutlich, wie extrem sich ein Leerlaufen der Messfühler auf die Messwerte auswirkt. Während alle anderen Sensoren auf die Austrocknung mit einem Anstieg der Saugspannung reagieren (grüne Markierung), bleibt das Tensiometer in 20 cm Tiefe (T 20 B = Tensiometer in 20 cm Tiefe beim Tropfer) konstant auf einem niedrigen Wert.

Auf den starken Niederschlag am 18.07. reagierten lediglich die Watermark-Sensoren in 20 cm bei der Tropfstelle (W 20 B) und das Tensiometer in 50 cm beim Tropfer (T 50 B). Alle anderen Sensoren weisen keine erklärbaren Messergebnisse auf. Bei Tests der Watermark-Sensoren unter Laborbedingungen zeigte sich ein großer Einfluss der Temperatur auf die Messungen. Abbildung 11 zeigt dies deutlich. Sobald die Temperatur steigt, sinkt die Saugspannung merklich ab.

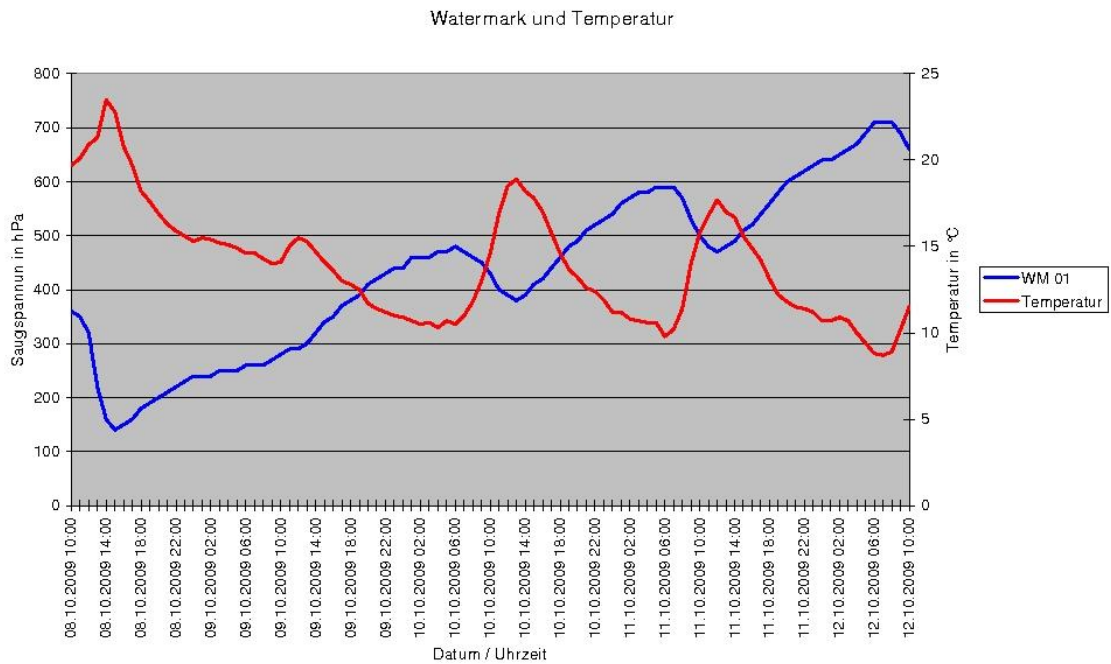


Abbildung 11: Messwerte Tensiometer Standort Salzberger (Isargäu) [2]

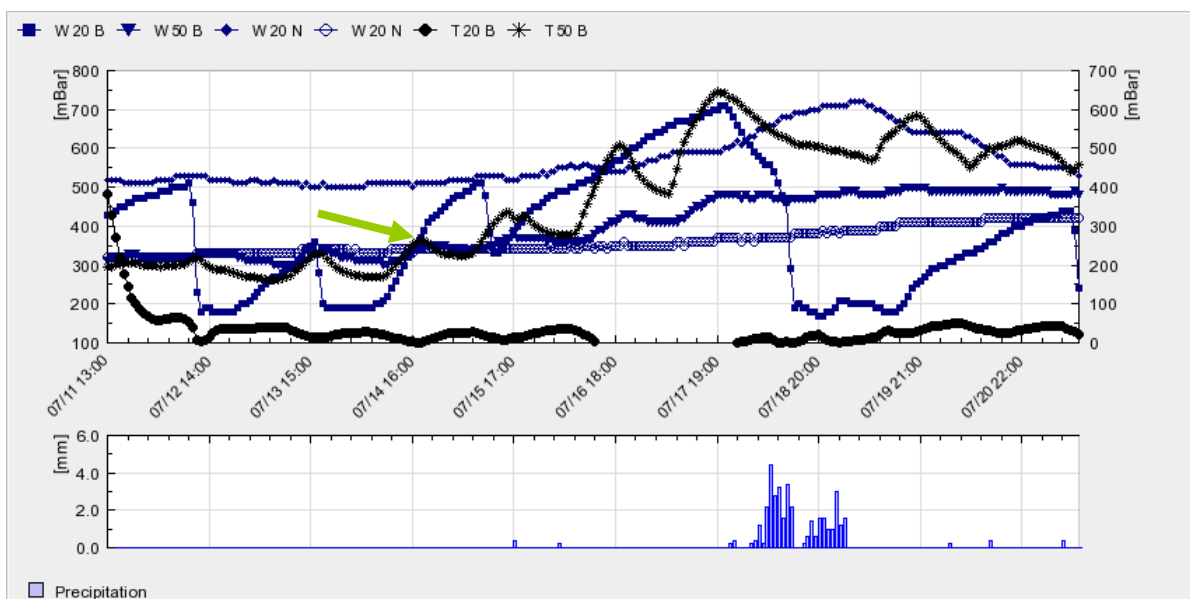


Abbildung 12: Messwerte Tensiometer Standort Salzberger (Isargäu) [1]

Abweichungen von ± 50 hPa wären noch tolerierbar, bei größeren Abweichungen wie sie in Abbildung 12 deutlich zu sehen sind, ist eine objektive und korrekte Bewässerungssteuerung kaum mehr möglich. So steigt beispielsweise die vom Watermark-Sensor (W 20 B) angezeigte Saugspannung deutlich an, während das vergleichbare Tensiometer T 20 B keine Reaktion zeigt. Abbildung 13 dagegen zeigt Verläufe einer anderen Wetterstation, die erklärbar und korrekt zu sein scheinen. Nach einem Niederschlagsereignis am 18.07.09 fallen die Saugspannungswerte des Tensios und Watermark in 20 cm Tiefe beim Tropfer (T 20 B, W 20 B) ab. Auch die beiden Watermark 20 cm neben der Tropfstelle fallen, zeitlich versetzt zu den Tensiometern deutlich ab. Ihre anfänglich höheren Werte sind durch die stärkere Austrocknung neben der Tropfstelle und die fehlende Abdeckung durch die Mulchfolie begründet. Die zeitliche Verzögerung ist höchstwahrscheinlich auf die Trägheit des Keramikkörpers am Messfühler zurückzuführen. Dieser trocknet nach einer Befeuchtung nur langsam ab, weshalb länger zu hohe Werte gemessen werden. Generell scheinen die Tensiometer schneller und genauer zu messen. Dies ist beim Vergleich des Tensiometers T 20 B mit dem Watermark W 20 B zu erkennen.

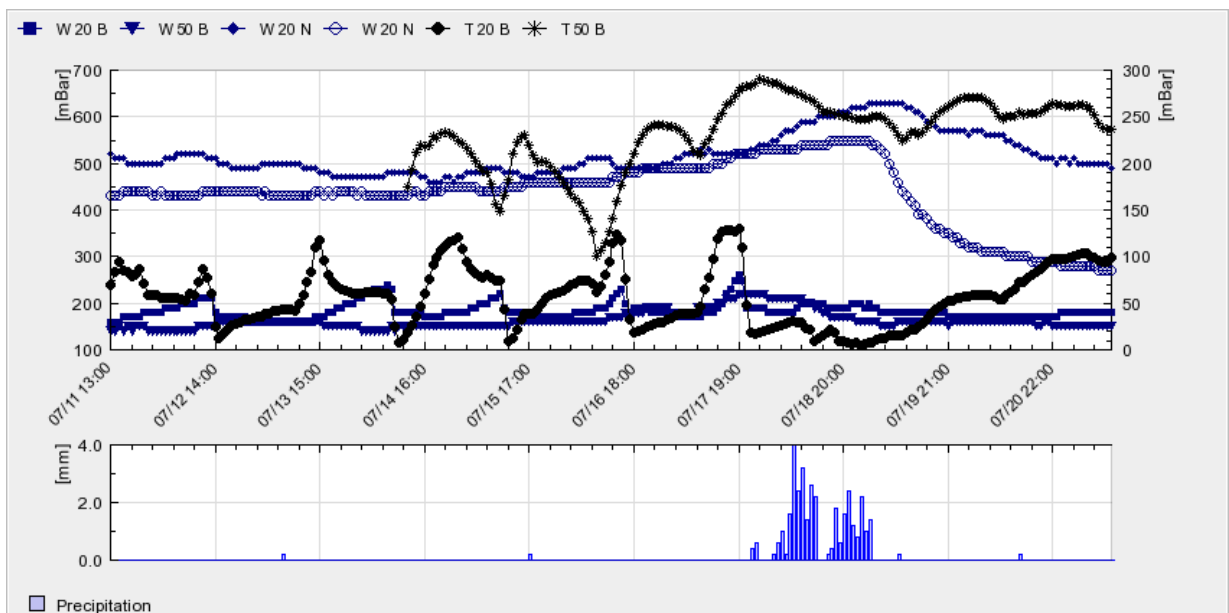


Abbildung 13: Messwerte Tensiometer Standort Steinhuber (Neusling) [1]

4.2.2 Tensiometer und SIS in Endlau und Rottersdorf

Seit einiger Zeit bietet die Firma UMS aus München den verbesserten Watermark-Sensor SIS an. Auch dieser wurde einer Prüfung unterzogen. Leider zeigten sich auch hier Messfehler wie in Abbildung 14 deutlich zu sehen ist.

Im feuchten Zustand wurde die Bodenfeuchte beim SIS-Sensor in 10 cm Tiefe noch zuverlässig angezeigt. Sobald der Boden abtrocknete stieg die Saugspannung aber permanent an und sank auch nach erneuter Befeuchtung nicht auf normale Werte. Die starken Schwankungen dieser Sensoren (siehe SIS 50 cm) müssen nächstes Jahr nochmals untersucht werden. Sollten abermals diese Probleme auftauchen, ist es sinnvoll sie durch andere Fühler zu ersetzen. Aufgrund der starken Niederschläge in der Wachstumsphase konnten leider keine Unterschiede bei der Qualität und dem Abreifeverhalten der 30 Zwiebelsorten festgestellt werden. Bei durchschnittlichen Temperaturen und Niederschlagsereignissen kann im zweiten Versuchsjahr aber eine andere Situation eintreten, die dann bessere Ergebnisse liefern sollte.

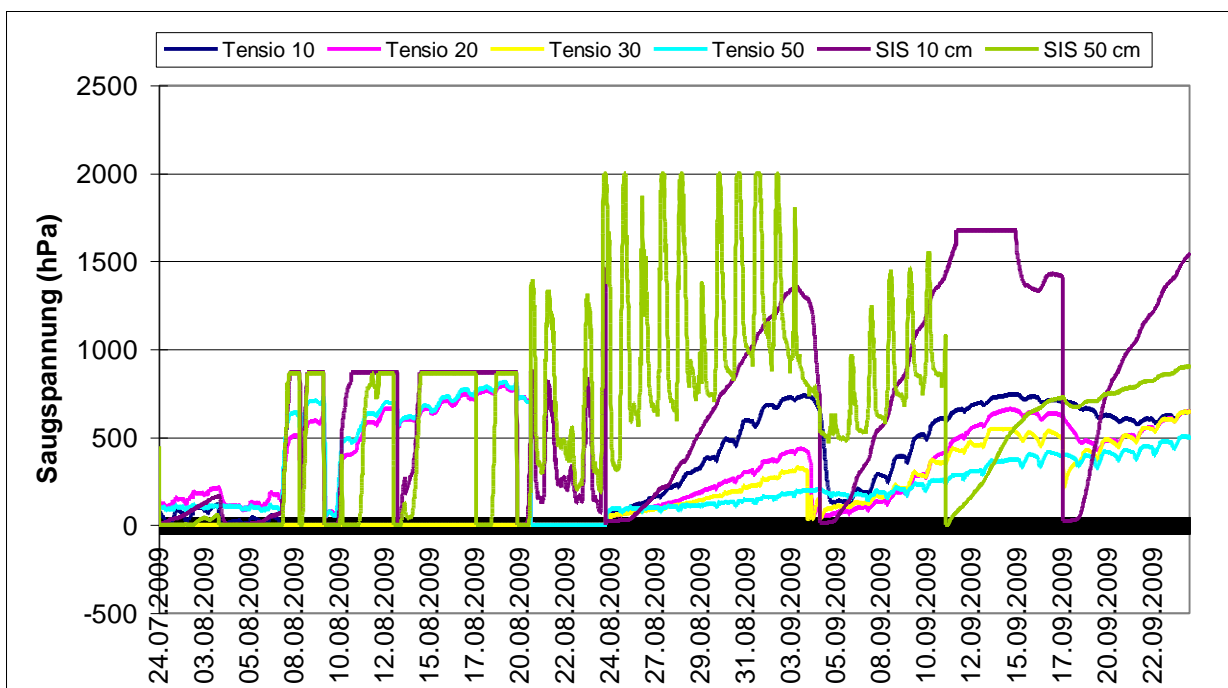


Abbildung 14: Saugspannung SIS-Sensor im Vergleich zu Tensiometern [1]

4.3 Zusammenfassung der Ergebnisse einer Meisterarbeit zum Thema

Motiviert durch die diesjährigen Versuche des Bewässerungsprojektes im Knoblauchsland und die am elterlichen Betrieb vergleichsweise hohen Wasserpreise von 1,80 €/m³ stellte Herr Daniel Schumacher, seinerseits Meisterschüler an der staatlichen Fachschule für Agrarwirtschaft Fürth, 2009 Untersuchungen an, die ökonomische und praktische Vorteile der Tropfbewässerung genauer beleuchten sollen. Die Ergebnisse hieraus sind mit denen aus Nürnberg vergleichbar und eine gute Ergänzung zu bisherigen Tendenzen. Er verglich dazu ebenfalls bei Eissalat die Vor- und Nachteile einer Beregnungsmaschine (Großregner) mit der Tropfbewässerung.

Auf einer Länge von 125 m und 1,8 m breiten Beeten verlegte er dazu Tropfschläuche mit einer stündlichen Durchflussrate von 1,14 l/Tropfer und einem Tropfabstand von 30 cm oberirdisch in die Kultur.

Ein Tensiometer, verbunden mit einem GSM-Modul und Unterdrucksensor gab die Möglichkeit Warnmeldungen per SMS auf das Handy zu erhalten. Die Technik funktionierte laut Aussagen von Herrn Schumacher störungsfrei. Lediglich der Alarmwert musste im Laufe der Wachstumsphase von 100 hPa auf 200 hPa korrigiert werden, um zu häufige Meldungen zu unterbinden. [2]. Bei der Auswertung der Wassermengen kam ein erstaunliches Einsparungspotenzial zutage. Im Vergleich zur Beregnungsmaschine verbrauchte die Tropfbewässerung 49 % weniger Wasser. Dies bedeutet eine Kosteneinsparung von 230 €/ha.

Außerdem wurde eine um 2 % leicht erhöhte Erntemenge und eine Ernteverfrühung um 2 - 3 Tage festgestellt. Diese Angaben sind jedoch nicht statistisch abgesichert und sollten daher einer kritischen Betrachtung unterzogen werden. Weiterhin stellte Herr Schumacher eine bessere Durchwurzelung der Salatpflanzen fest. Gerade in den Sommermonaten könnte diese Tatsache gefürchtete physiologische Wachstumsstörungen verringern, wie sie beispielsweise durch Kalziummangel hervorgerufen werden. Die verbesserte Durchwurzelung bei der Tropfbewässerung fiel schon bei vorangegangenen Versuchen in verschiedenen Kulturen auf. Herr Prof. Dr. Paschold beobachtet diese Phänomene bereits seit langem im Spargelanbau [5] und erst kürzlich erörterte Herr Münsterer von der LfL ähnliche Beobachtungen in Hopfengärten [6].

4.4 Ergebnisse der Diplomarbeit von Herrn Christoph Seifried

Herr Seifried führte im Rahmen seiner Diplomarbeit und nicht zuletzt wegen der bereits erwähnten Messprobleme der GEO-Wetterstationen und der Sensoren diverse Tests durch und konnte weitere interessante Ergebnisse erzielen. Ein kleiner Auszug daraus wird in den folgenden Abschnitten gezeigt und diskutiert.

Beim Vergleich der Pessl Wetterstationen mit denen der Landesanstalt für Landwirtschaft, fällt eine Abweichung der Verdunstungswerte zueinander auf. Das hat folgende Gründe: Die LfL legt ihren Berechnungen die Penman-Formel¹ zugrunde. Die Firma Pessl hingegen benutzt die Referenzverdunstung über Gras (ET_0), weshalb sich bei den GEO-Stationen durchschnittlich 1 mm höhere Verdunstungswerte. (Abb.15) ergeben.

¹ Formel zur Ermittlung der Verdunstung über unbewachsenem/freiem Land [11]

Hier wäre eine weltweite Vereinheitlichung der Verdunstungsformel sehr wichtig, damit alle Messdaten und Berechnungen vergleichbar und transparent werden.

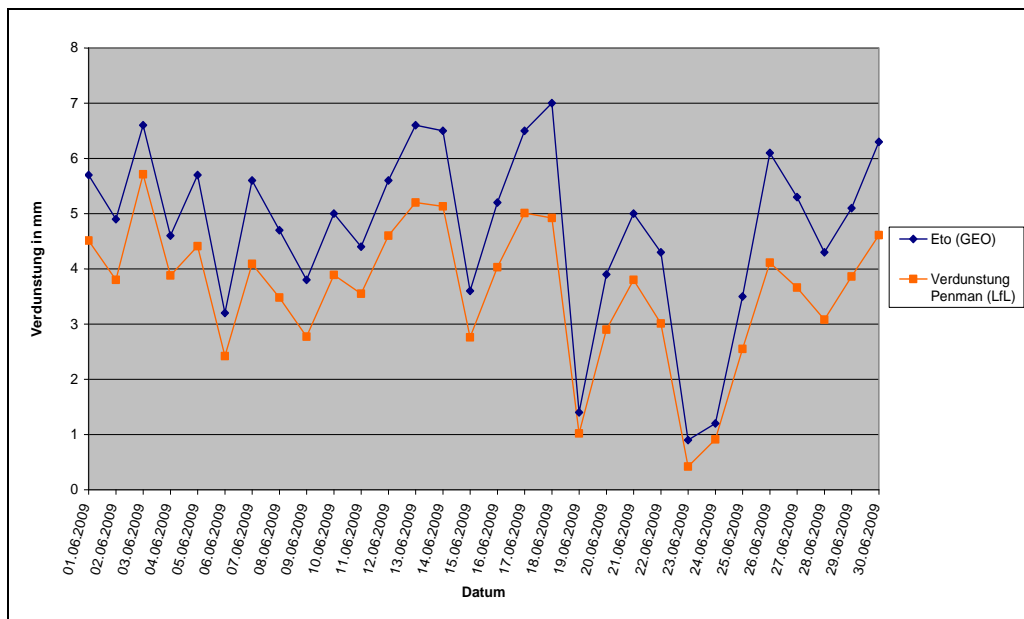


Abbildung 15: Vergleich der Verdunstungswerte beider Wetterstationen [2]

Weiterhin messen beide Systeme unterschiedliche Werte bei der Globalstrahlung. Diese liegt bei den Stationen der GEO 35 % über den Werten der LfL-Messfühler. Auch dies führt natürlich zu rechnerisch höheren Verdunstungswerten. Als wahrheitsgemäß kann allem Anschein nach die hochwertige Technik der Landesanstalt bezeichnet werden. Die Messergebnisse der Firma Pessl bedürfen höchstwahrscheinlich einer Überprüfung.

Abbildung 16 zeigt deutlich höhere Werte der Globalstrahlung², die teilweise über der extraterrestrischen Strahlung³ liegen. Dies ist jedoch nicht möglich.

² Gesamte, an der Erdoberfläche auf eine horizontale Fläche auftreffende Solarstrahlung [11]

³ Solarstrahlung ohne Abschwächung durch die Atmosphäre [11]

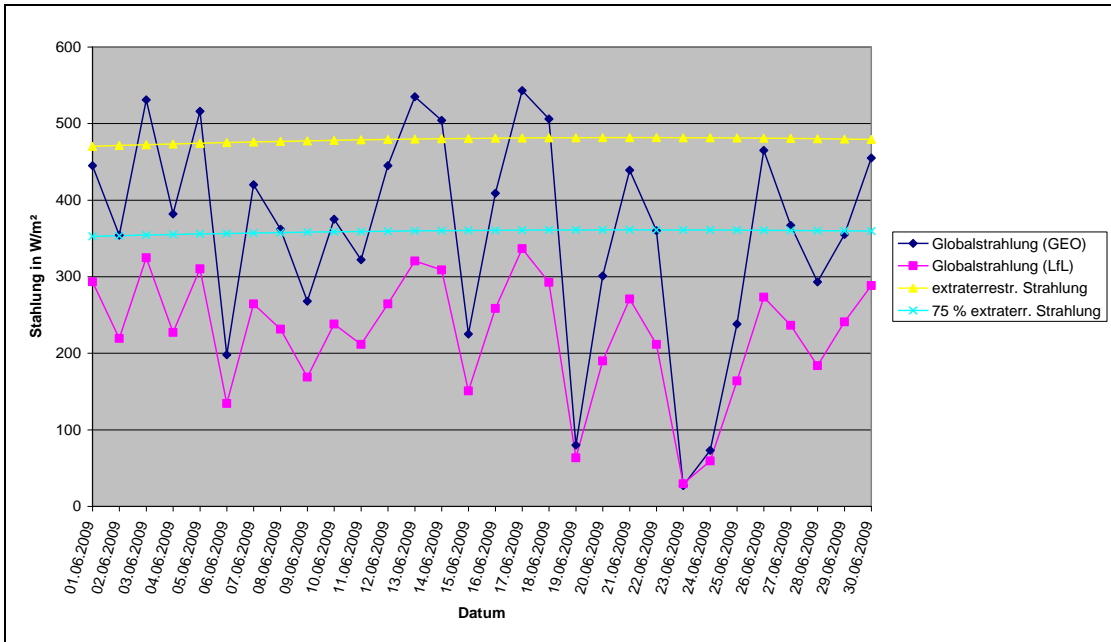


Abbildung 16: Aufzeichnung der Einstrahlung bei den verwendeten Wetterstationen [2]

In Kapitel 4.2.1 und 4.2.2 wurde bereits auf Messunsicherheiten der verschiedenen Sensoren hingewiesen. Anfängliche Vermutungen, die Tensiometer seien die einzig zuverlässigen und genauesten Messinstrumente wurden durch einen einfachen Versuch manifestiert. Ein definierter Unterdruck, gemessen in hPa, an Messköpfen wurde mit der Datenausgabe am Logger verglichen. Die dadurch entstandene Messreihe zeigt Tabelle 1. Auffallend ist die nahezu exakte Übereinstimmung beider Werte. Dies bedeutet eine hohe Verlässlichkeit der Tensiometer und stellt eine wichtige Aussage für die Praktiker dar.

Tabelle 1: Prüftabelle Tensiometer [1]

Prüfung der Tensiosensoren der LfL Station am 03.12.2009					
Angelegter Unterdruck (hPa)	100	200	300	400	565
Anzeige T 01 (LfL)	105	205	305	407	565
Anzeige T 02 (LfL)	107	203	296	395	557
Anzeige T 03 (LfL)	110	202	299	392	566

5 Schwierigkeiten und Lösungsansätze

Bei jedem Forschungsvorhaben tauchen unerwartete Situationen auf. Im Falle der Bewässerungssteuerung fielen hauptsächlich die Messunterschiede der einzelnen Sensorarten auf. Neuere Fühler, wie beispielsweise der SIS lieferten wenig zufrieden stellende Werte. Gegen die Füllstandsdefizite in den Tensiometern wurde seitens der Praktiker wenig unternommen, so dass die eigentlich gut funktionierenden Geräte dadurch falsche Ergebnisse lieferten.

Mit den diesjährigen Erfahrungen und zusätzlicher Unterstützung der Kollegen an den AELF's Deggendorf und Landau wird es 2010 möglich sein, präventive Gegenmaßnahmen zu Versuchsbeginn zu ergreifen.

5.1 Bauteile

Im Knoblauchsland kam als Hauptleitung ein PE-Rohr mit 50 mm Durchmesser und einer Wandstärke von 3 mm zum Einsatz, aufgewickelt auf einer 100 m Rolle. Dadurch wurde es schwierig, die sehr starre Leitung auf einer größeren Strecke in eine gerade Form zu bringen. Dies gelingt nur mit zwei Personen und erheblichem Kraftaufwand. Daher wird auch in Niederbayern zukünftig ein flexibler Schlauch als Hauptleitung verwendet. Eine weitere Herausforderung bestand in der Integration der Filter, Ventile und Zwischenstücke in die Leitung. Dazu werden zwei große Rohrzangen und zwei Arbeitskräfte benötigt, um die Kunststoffüberwürfe fest mit dem Gewinde zu verschrauben. Wird hierbei nicht sorgfältig genug gearbeitet, kommt es im laufenden Betrieb zu Undichtigkeiten und Wasserverlusten. Weiterhin kam es beim Tensiometereinsatz in den leichten Sandböden des Knoblauchslandes zu leichten Schwierigkeiten. Durch die Über-Kopf-Beregnung wurden die Feinanteile des Bodens von den Keramikzellen abgeschwemmt. In Folge bestand keine feste Verbindung der Keramikzelle mit der umliegenden Erde mehr. Dadurch kann es zu Messstörungen kommen. Dieses Problem wird 2010 durch den Einsatz von Bentonit⁴ als Haftmittel weitgehend verhindert werden können. Auf der Seite der Tropfbewässerung wurde der Bodenschluss der Sensoren zu keiner Zeit verändert. Bei Messungen mit Tensiometern der gleichen Bauart in leichten Baumschulsubstraten traten die gleichen Probleme auf. Der verminderte Bodenschluss zwischen Keramik und Substrat hatte ebenfalls einen erhöhten Füllstandsverlust im Tensiorohr zur Folge [7].

⁴ Stark quellfähige Mischung aus verschiedenen Tonmineralien

5.2 Akzeptanz

Nicht nur technische Hürden mussten während der vergangenen Saison überwunden werden, viele Landwirte sind mit der Vorgehensweise bei wissenschaftlichen Untersuchungen ebenfalls nicht genügend vertraut. Dies führt manchmal dazu, teure Technik und Messeinrichtungen eher als Spielerei abzuwerten, anstatt die gemessenen Werte ernst zu nehmen und zu interpretieren. Während der Saison fiel auf, dass die Tensiometer nur spärlich betrachtet wurden. In einem Fall wurden sie bei der Bodenbearbeitung übersehen und somit eingefräst.

Auf Hinweise reagierte man oft mit einer gewissen Gleichgültigkeit und wollte die Messungen erst am Saisonende betrachten. Es gab aber auch Betriebe, die nach Trockenphasen nachfragten, ab welchen Saugspannungswerten der Bewässerungsvorgang gestartet werden soll. Dies lässt Raum für Hoffnungen und gibt Anlass im nächsten Jahr detaillierte Beschreibungen der Sensorik und deren Wartung bzw. Einbau an den Erzeuger herauszugeben.

6 Verbesserungen 2010

Das vorhergehende Kapitel zeigte bereits einige Schwachstellen, die unerwartet und trotz intensiver Planungen im Vorfeld auftauchten. Damit in der kommenden Saison diese Probleme nach Möglichkeit vollständig behoben werden, sind einige Verbesserungen nötig. Weiterhin werden an allen niederbayerischen Standorten mit erschwerter Automatisierbarkeit der Bewässerungssteuerung technische Neuerungen, wie die Alarmierung per SMS bei Trockenheit eingesetzt und deren Zuverlässigkeit geprüft.

6.1 Nürnberg

Aufgrund zeitlicher Engpässe, verursacht durch die Vielzahl an Versuchsfeldern und der damit verbundene hohe technische Aufwand, musste auf aufwändigere Anlagenteile im Knoblauchsland verzichtet werden. So ist in die bisherige Verteilleitung der Tropfbewässerungsanlage noch keine Einspeisemöglichkeit für Flüssigdünger integriert. 2010 wird dies mit einem Bypass⁵ möglich sein.

⁵ Abzweigung an der Hauptleitung mit integriertem Dosiergerät zur Flüssigdüngung

6.2 Standort Rottersdorf

Am Standort Rottersdorf wurde die Hauptleitung 2009 noch mit unhandlichen 1“ PE-Leitungen ausgeführt. Außerdem konnte wegen der begrenzten Durchflussmenge des Hausanschlusses nur eine kleine Fläche mit Tropfschläuchen ausgestattet werden. Nächstes Jahr wird die Zwiebelkultur aufgrund von Fruchtfolgemaßnahmen auf einem anderen Feldstück stehen. Hier besteht Anschlussmöglichkeit am Brunnen, wodurch Lay-flat⁶ Schläuche ausgelegt und 6 - 8 Reihen à ca. 100 m mit Bewässerungsschläuchen versorgt werden können. Das erleichtert den Auf- und Abbau, sowie den Transport erheblich. Bohr- und Schraubarbeiten wie beim starren PE-System entfallen ebenfalls weitgehend. Der Einsatz einer Düngerdosierung wird nach Absprache mit dem Erzeuger und Beraterkollegen nicht erfolgen, da dies im Zwiebelanbau in Niederbayern absolut unüblich und unrentabel ist, so dass auch hier keine repräsentativen Aussagen für andere Landwirte getroffen werden könnten.

6.3 Standorte GEO

Eine Verbesserung für 2010 wird im Bereich der Sensorik vorgenommen. Die bestehenden Tensiometer werden durch neue, laut Herrn Dr. Mosler⁷ [2] bessere Fühler ersetzt. Damit sich die Bauteile im und am Feld nicht der Aufmerksamkeit des Schlepperfahrers entziehen und beschädigt werden, wird in der kommenden Saison jeder Sensor mit Signalbändern weitreichend sichtbar gemacht. Ein Reparaturset am Feld, bestehend aus einem Kanister destilliertem Wasser und einer Spritze, sowie Klebebändern und Dichtungen erlauben schnelle Reparaturen, ohne zurück zur Hofstelle fahren zu müssen. An der Station werden außerdem standortspezifische Tabellen bereitgestellt, die Entscheidungen wann und wie bewässert werden soll, erleichtern.

7 Ausblick

Prinzipiell erfordern Neuerungen im landwirtschaftlichen Bereich immer ein hohes Maß an Praktikabilität und gleichzeitig geringem Zeitaufwand für den Bewirtschafter.

⁶ flexible Hauptleitung aus gummiertem Gewebe, ähnlich einem Feuerwehrschauch

⁷ Vertrieb von Sensoren für die Wetterstationen der GEO

Nur so werden Neuerungen akzeptiert und können sich schneller im Kollegenkreis ausbreiten. Deshalb muss in den nächsten Jahren die Forschung und Beratung weiter gemeinsam aktiv auf den Erzeuger zugehen und intensiv Hilfe in Bewässerungsfragen anbieten. Vielleicht können auch Neuerungen wie die SMS-Alarmierung die Sensibilität für angepasste Wassergaben steigern. Sichtbare Qualitätsverbesserungen und idealere Kulturbedingungen wären weitere Hilfsmittel für zukünftig objektivere Einschätzungen des Bodenwassergehaltes. Finanzielle Einsparungen führen bei den momentanen noch verhältnismäßig geringen Wasser- und Energiepreisen nicht zum Ziel der flächigen Ausbreitung von Tropfbewässerungsanlagen. Dies geht auch aus einer 2009 durchgeführten Umfrage bei Landwirten in verschiedenen Teilen Bayerns hervor (Abbildung 17). Außerdem herrscht in Bayern, momentan kein akuter Wassermangel und somit wenig Motivation sich mit der Problematik zu befassen.

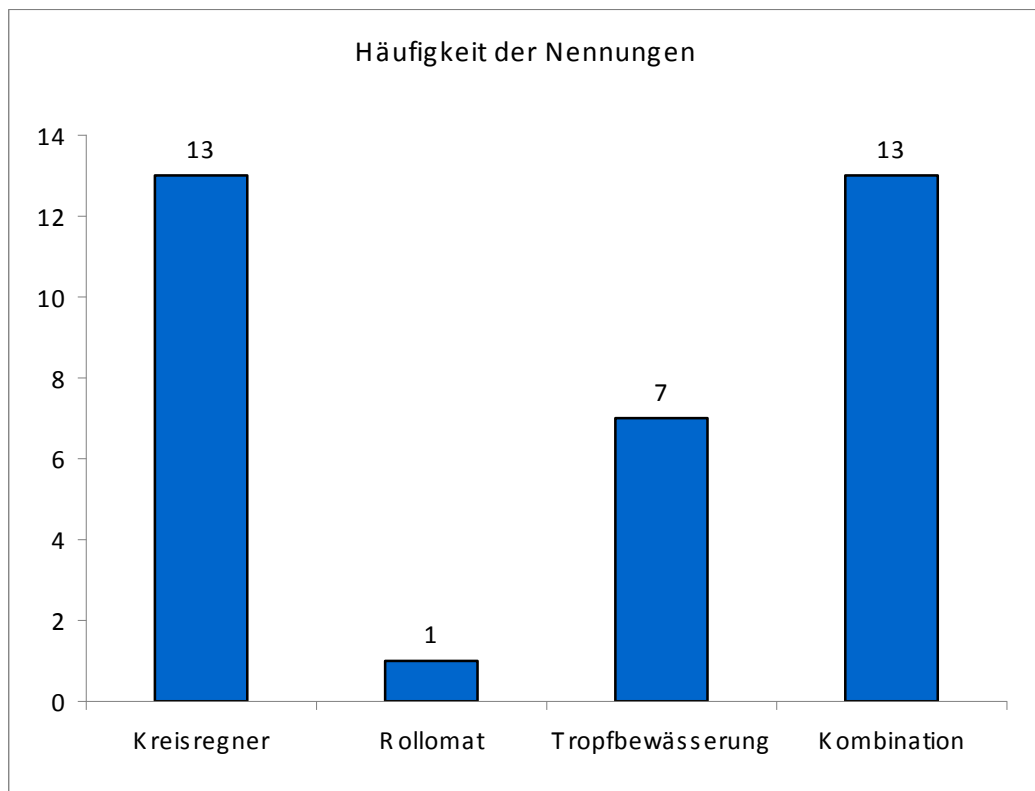


Abbildung 17: Art der Bewässerung nach einer Umfrage 2009 [1]

Andere Länder wie Israel oder Amerika hingegen sind von sinkenden Grundwasserständen und Trockenphasen durchaus stark betroffen und arbeiten schon seit Jahren mit moderner Agrartechnik, um unter diesen Bedingungen weiterhin erfolgreich Ackerbau zu betreiben. So werden riesige Flächen mit Tropfschläuchen bewässert, gedüngt und mit Sensoren überwacht [10]. Die Technik ist also ausgereift, ihre Nutzung dagegen muss in Bayern weiter forciert werden.

Bei der Frage nach der momentanen Steuerung der Bodenfeuchte traten ähnliche Angaben auf. Nur etwa 14 % der Befragten steuern momentan ihre Bewässerung nach objektiven Kriterien (siehe Abbildung 18).

Der Rest verlässt sich auf das Gefühl und die langjährige Erfahrung. Sicherlich ersetzt auch ein Sensor diese Intuition nicht. Er soll aber helfen, die eigene Entscheidung zu untermauern oder zu relativieren.

Schlussendlich wird ein noch schonenderer Umgang mit Wasser auch in der Landwirtschaft unabdingbar werden. Über-Kopf Berechnungssysteme, bei denen durchschnittlich 50 % des Zusatzwassers durch Verdunstung, Abdrift und Versickerung verloren gehen [4], werden voraussichtlich immer stärker in den Fokus von Politik und Umweltschutz rücken. Eine sichere Einführung neuer Techniken ist daher zwingend erforderlich.

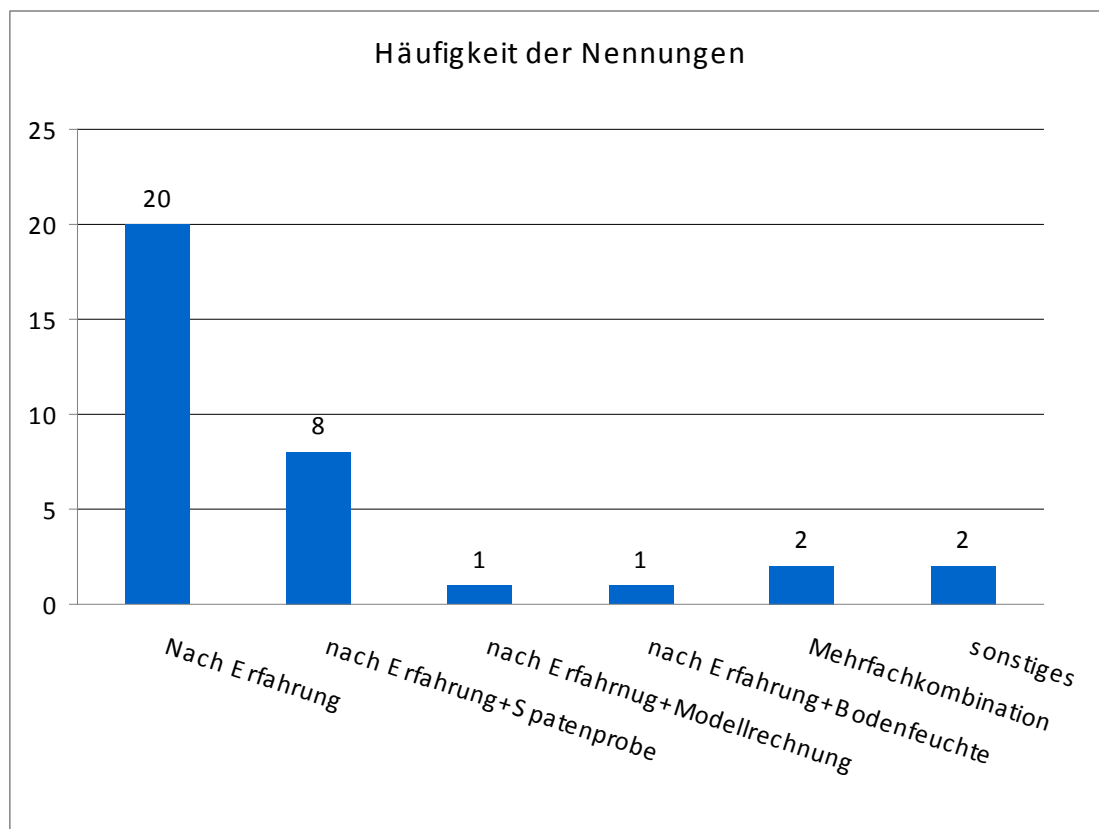


Abbildung 18: Steuerung der Bewässerung nach einer Umfrage 2009 [1]

Wassersparende Maßnahmen und technische Neuerungen erfordern aber auch zunehmend eine Beratung der Landwirte, wie sie beispielsweise Herr Dr. Ambros vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz diesbezüglich fordert [8]. Deutschland konnte „beispielsweise durch sparende Bewässerungstechniken in den letzten Jahrzehnten seinen Wasserbedarf je Flächeneinheit um 80 Prozent reduzieren.“ [9] Diese Erfolge sollten als Motivation für weitere Maßnahmen, wie das Bewässerungsprojekt dienen.

8 Danksagung

Mein Dank gilt an dieser Stelle Allen, die hilfreiche Beiträge zur Durchführung des Projektes geleistet haben.

An vorderster Stelle Herrn Dr. Michael Beck, Mitarbeiter der Forschungsanstalt Gartenbau Weihenstephan, für die langjährige hervorragende Zusammenarbeit und die vielen nützlichen Ratschläge und Hilfestellungen. Allen Landwirten und Gärtnern, durch deren Einsatz und Bereitstellung der Flächen ein derartiges Vorhaben erst ermöglicht wurde.

Allen Kollegen an den Ämtern für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten für ihre tatkräftige Unterstützung vor Ort und den netten Kontakt.

Zu guter Letzt den Personen des über Bayern hinaus entstandenen „Netzwerkes Bewässerung“ für die konstruktiven Treffen und Telefonate.

9 Quellenverzeichnis:

- [1] telefonische Auskunft von Herrn Bambach (Firma Tensio-Technik) vom 23.10.09
- [2] Mosler T., Telefonauskunft vom 29.10.09
- [3] Mosler T. 2009: Monatsschrift, Ausgabe Mai S. 312-313
- [4] Kreul W., 09: Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt (Heft 14) 03.04.09
- [5] Paschold, P.J., 2008: Vortrag Bewässerungssteuerung vom 20.11.08
- [6] Münsterer J., mündliche Auskunft vom 26.10.09, Wolnzach
- [7] Graf W., Zander M. 2009, Mangelbewässerung sicher steuern: Deutsche Baumschule Heft 09, S. 47-49
- [8] Ambros, W., 08: Wasserrahmenrichtlinie – Beratung ist gefragt, B&B Agrar, Heft Nr. 6
- [9] Müller, G., 09: Pressemitteilung Nr. 052 vom 20.03.09, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

Quellen aus dem Internet:

- [10] www.youtube.com/watch?v=vY9gQBm6E2w
- [11] www.wikipedia.org/wiki/Globalstrahlung

Abbildungen:

- [1] eigene Bilder
- [2] Seifried, C., 2009: Diplomarbeit „Anwendung von verschiedenen Steuerungsmodellen für die Bewässerung am Beispiel des Einlegegurkenanbaus in Niederbayern“
- [3] www.ums-muc.de/produkte/matrix_Sensoren/sis.html
- [4] www.mmm-tech.de/index.

10 Tabellen und Abbildungsverzeichnis

Tabelle 1: Prüftabelle Tensiometer [1]	21
Abbildung 1: PE- Verteilleitung [1]	4
Abbildung 2: Magnetventil mit Steuercomputer [1]	5
Abbildung 3: Tensiometer mit Verlängerungskabel im Knoblauchsland	7
Abbildung 4: Wetterstation zur Klimaerfassung [1]	8
Abbildung 5: digitaler Messkopf [1]	9
Abbildung 6: manueller Messkopf [1].....	9
Abbildung 7: SIS-Sensor [3].....	
Abbildung 8: Watermark-Sensor [4]	12
Abbildung 9: Tensiometer der GEO [1]	12
Abbildung 10: Wetterstation der GEO [1]	13
Abbildung 11: Messwerte Tensiometer Standort Salzberger (Isargäu) [2]	16
Abbildung 12: Messwerte Tensiometer Standort Salzberger (Isargäu) [1].....	16
Abbildung 13: Messwerte Tensiometer Standort Steinhuber (Neusling) [1]	17
Abbildung 14: Saugspannung SIS-Sensor im Vergleich zu Tensiometern [1]	18
Abbildung 15: Vergleich der Verdunstungswerte beider Wetterstationen [2]	20
Abbildung 16: Aufzeichnung der Einstrahlung bei den verwendeten Wetterstationen [2].....	21
Abbildung 17: Art der Bewässerung nach einer Umfrage 2009 [1].....	25
Abbildung 18: Steuerung der Bewässerung nach einer Umfrage 2009 [1].....	26