

BODENFEUCHTEMONITORING MIT INFORMATIONSSYSTEM



Pilotprogramm Anpassung an den Klimawandel: Schlussbericht

Version: 25.01.2017

Autoren: Cornelia Knellwolf-Keiser, inNET Monitoring AG
Claudia Loretz, inNET Monitoring AG und Universität Bern
Christian Ruckstuhl, inNET Monitoring AG

Ein Projekt im Rahmen des Pilotprogramms zur Anpassung an den Klimawandel, gefördert durch das Bundesamt für Umwelt BAFU und die Zentralschweizer Umweltdirektionen (ZUDK). Für den Inhalt des Berichts sind allein die Autoren verantwortlich.

Impressum

Auftraggeber:	Bundesamt für Umwelt BAFU 3003 Bern
Begleitgruppe:	Harry Ilgg, AfU Uri Reto Meuli, BAFU, Agroscope Hans Pfister, Pfister Terra GmbH Sonja Seneviratne, ETH Zürich Franz Stadelmann, Iawa Luzern Fabio Wegmann, BAFU
Oberprojektleitung:	Thomas Joller, uwe Luzern (bis Mitte 2015) David Widmer, uwe Luzern (ab Mitte 2015)
Projektleitung:	Christian Ruckstuhl, inNET Monitoring AG
Sachbearbeitung:	Cornelia Knellwolf-Keiser, inNET Monitoring AG Claudia Loretz, inNET Monitoring AG und Universität Bern mit Beitrag von Pascale Smith, Agroscope

Ein Projekt im Rahmen des Pilotprogrammes zur Anpassung an den Klimawandel, gefördert durch das Bundesamt für Umwelt BAFU und die Zentralschweizer Umweltdirektionen (ZUDK). Für den Inhalt des Berichts sind allein die Autoren verantwortlich.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Foto Titelseite: Bodenmessstation Gelfingen, inNET Monitoring AG

Zusammenfassung

«Zuerst denkt man, Bewässerung ist die Lösung: Wenn der Wasserbedarf steigt, dann bewässert man eben, um die Erträge zu sichern. Aber das kann nicht funktionieren, weil wir in Zukunft weniger Wasser haben werden. Es kommt darauf an, die Landwirtschaft weniger wasserbedürftig zu machen. Das verfügbare Wasser muss effizienter genutzt werden.»¹ Dieses Zitat von Jürg Fuhrer, Agroscope umschreibt den Hintergrund des Projekts «Bodenfeuchtemonitoring mit Informationssystem», welches im Rahmen des Pilotprogramms «Anpassung an den Klimawandel» durchgeführt wurde, sehr passend und prägnant. Projektträger des Pilotprojekts sind die Zentralschweizer Umweltdirektionen (ZUDK) und das Bundesamt für Umwelt (BAFU). Das Projekt wurde von der Firma inNET Monitoring AG unter Projektoberleitung der Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) Luzern ausgeführt. Das **übergeordnete Projektziel** war es aufzuzeigen, wie mit Bodenfeuchtemessungen die Effizienz des Bewässerungswassers gesteigert und Ertragseinbussen minimiert werden können.

Während der Projektphase wurden **drei Bodenfeuchtemessstationen in den Zentralschweizer Kantonen Luzern und Schwyz** in unterschiedlichen landwirtschaftlichen Kulturen (Äpfel, Kirschen und Heidelbeeren) aufgebaut. Bei der Standortwahl wurden möglichst trockenkritische Kulturen und Standorte gewählt. Die wichtigsten erfassten Messgrössen waren die Saugspannung (Kraft gemessen in cbar oder hPa, mit welcher Pflanzen das Wasser aus dem Boden ziehen müssen) und die Bodenfeuchte (Volumenprozent des Wassers im Boden), deren Werte jeweils auf drei Tiefen (20, 35 und 60 cm) erhoben wurden.

Ursprünglich war geplant, eine umfassende Webseite mit Online-Messdaten, Datenarchiv und Ampelsystem für Hinweise zum Bewässerungsbedarf für die jeweiligen Kulturen zu erstellen. Auf Antrag der Projektoberleitung wurde dieser Projektschritt nicht umgesetzt und es wurde nur eine einfache Webpublikation der Messdaten erstellt. Der Hauptgrund, keine ausführliche Webseite zu erstellen, lag darin, dass während der Projektphase entschieden wurde, das Projekt nach der 3-jährigen Pilotphase nicht mehr weiterzuführen. Anstelle der umfassenden Webseite wurde in Zusammenarbeit mit Agroscope ein **Bodenfeuchtemodell** mittels der erhobenen Messdaten für einen Standort evaluiert und analysiert, wie weit ein solches Modell für Bodenfeuchteprognosen und somit zur Effizienzsteigerung der Bewässerung eingesetzt werden kann. Der Vergleich der gemessenen und modellierten Daten zeigt, dass beim eingesetzten Modell die Abweichung der modellierten Bodenfeuchte bezogen auf Tagesmittelwerte im Durchschnitt weniger als 2 % beträgt.

Der aus Literaturrecherchen und Experteninterviews erstellte **Massnahmenkatalog** gibt eine allgemeine Übersicht, mit welchen Massnahmen die Bewässerungseffizienz und die Resistenz gegenüber Trockenheit gesteigert werden kann. Die Massnahmenvielfalt reicht von optimierten Bewässerungssystemen, Sorten- und Unterlagenwahl, gezielte Standortwahl bis hin zu Massnahmen in der Bearbeitung der Kulturen.

¹ Bewirtschaftung der Wasserressourcen unter steigendem Nutzungsdruck, NFP 61 – Thematische Synthese 2 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61, «Nachhaltige Wassernutzung»
http://www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/medienmitteilungen/mm_141106_nfp61_thematische_synthese_2_d.pdf

Die Messdaten und die Umfrage bei den Zentralschweizer Landwirten zeigten weiter auf, dass in trockenen Sommern wie im 2015 ein **Handlungsbedarf bezüglich Bewässerungseffizienz** herrscht. Andererseits zeigten die Messungen aber auch, dass die Produzenten zurzeit auch mit übersättigten Böden zu kämpfen haben, wie beispielsweise im Sommer 2016. Für generelle Aussagen und Prognosen für die Bewässerung ist das vorgeschlagene System gut einsetzbar, insbesondere auch da in der Zentralschweiz, wo eher kleinere Gemüse-, Beeren- und Obstproduzenten ansässig sind. Diese Produzenten könnten sich dann bei trockenen Bedingungen via Webseite beispielsweise über den Verlauf der Saugspannung informieren und davon ableiten, wann und wieviel sie ungefähr bewässern sollen. Bei grösseren Betrieben sind betriebseigene Messsysteme aber sicher nützlicher, da die Wasserspeicherkapazität der Böden sowie die Verdunstungsrate verschiedener Kulturen lokal sehr stark variiert.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	- 4 -
1 Einleitung.....	- 6 -
1.1 Projektziele.....	- 7 -
2 Grundlagen.....	- 9 -
2.1 Klimaveränderungen in der Schweiz	- 9 -
2.2 Boden	- 12 -
2.3 Klima in der Zentralschweiz.....	- 16 -
2.4 Bewässerungsbedarf in der Zentralschweiz.....	- 17 -
2.5 Landwirtschaft Zentralschweiz.....	- 18 -
2.6 Trockenkritische Kulturen in der Zentralschweiz	- 20 -
3 Umfrage Landwirte: Erfahrung Wassernutzung Zentralschweiz.....	- 23 -
3.1 Erfahrungen mit Trockenheit	- 23 -
3.2 Erfahrungen in der Bewässerung	- 23 -
3.3 Einschätzungen zum Klimawandel und seinen Auswirkungen in der Obst-, Gemüse- und Beerenproduktion in der Zentralschweiz	- 24 -
4 Bodenfeuchtemessnetz Zentralschweiz.....	- 26 -
4.1 Bestehende Bodenmessungen und Bodenmesssysteme.....	- 26 -
4.2 Standortwahl Projektbodenmessstationen.....	- 26 -
4.3 Übersicht Messstationen.....	- 27 -
4.4 Bodenfeuchtemessstation Gelfingen	- 28 -
4.5 Bodenfeuchtemessstation Triengen	- 29 -
4.6 Bodenfeuchtemessstation Oberarth.....	- 31 -
4.7 Bodenuntersuchungen	- 32 -
4.8 Ausstattung der Messstationen	- 32 -
4.9 Datenhaltung.....	- 34 -
5 Messresultate.....	- 36 -

5.1	Desorptionskurve (Beziehung Saugspannung zum Bodenwassergehalt)	- 36 -
5.2	Trockenheitsverteilung.....	- 39 -
6	Modell	- 48 -
6.1	Einleitung Modellierung.....	- 48 -
6.2	Was wird modelliert?	- 48 -
6.3	Methode.....	- 48 -
6.4	Input-Parameter	- 48 -
6.5	Modellvalidierung	- 49 -
6.6	Fazit der Modellierung	- 52 -
7	Massnahmenkatalog	- 53 -
7.1	Bewässerung	- 54 -
7.2	Sorten- und Unterlagenwahl.....	- 59 -
7.3	Gezielte Standortwahl.....	- 60 -
7.4	Verschieben der Saatzeitpunkte	- 61 -
7.5	Bodenbearbeitung.....	- 61 -
7.6	Mulch- und Direktsaat.....	- 62 -
7.7	Pflanzung und Wachstum.....	- 63 -
7.8	Bodenabdeckung, Wall.....	- 63 -
7.9	Massnahmen Behörden	- 63 -
7.10	Infrastruktur	- 64 -
7.11	Forschung	- 65 -
8	Fazit	- 66 -
9	Anhänge.....	- 68 -

1 Einleitung

Die Klimaerwärmung führt in den mittleren Breiten auf der Nordhemisphäre zu einer verminderten Bodenfeuchte und somit zu trockeneren Böden, was sich negativ auf die Bodenfruchtbarkeit auswirkt.² Besonders Hitzeperioden wie im Jahr 2003 oder 2015 häufen sich mit grosser Wahrscheinlichkeit in den nächsten Jahren.³ Solche Extremereignisse haben denn auch dazu geführt, dass die Problematik Trockenheit in der Schweiz immer mehr thematisiert wird. Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) entwickelte aufgrund des Postulats 10.353 von Nationalrat Hansjörg Walter Massnahmen und Empfehlungen zur Vorbereitung auf Trockenperioden in der Schweiz.⁴ Im Risikobericht 2012 vom Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS) gibt es einen Themenbereich zur Gefährdung durch Trockenheit⁵; und Trockenheit ist in der nationalen Anpassungsstrategie und in der Klimastrategie für die Landwirtschaft ein zentraler Bestandteil.⁶

Unter Trockenheit kann ein Mangel an Niederschlag, Bodenfeuchte, Abfluss oder Grundwasser verstanden werden. In der Landwirtschaft ist insbesondere ein Defizit bei der Bodenfeuchte von grosser Bedeutung, wenn Kulturen nicht oder nur ungenügend bewässert werden.² Der Bewässerungsbedarf in der Schweizer Landwirtschaft wird mit fortschreitendem Klimawandel zunehmen. Eine Steigerung der Bewässerungseffizienz ist anzustreben, um einerseits Ertragseinbussen in der Landwirtschaft zu vermindern und andererseits eine nachhaltige Nutzung des Bewässerungswassers zu erreichen. Um die Bewässerungseffizienz steigern zu können, sollen optimierte Bewässerungstechniken und bedarfsorientierte Bewässerungssteuerungen eingesetzt werden; solche lassen sich im Idealfall mit Bodenfeuchteprognosen optimieren. Diese Themen werden im Rahmen des BAFU-Pilotprojekts „Bodenfeuchtemonitoring mit Informationssystem“ erläutert.

Um die Folgen des Klimawandels zu begrenzen, hat das Bundesamt für Umwelt (BAFU) zuhanden des Bundesrates eine Anpassungsstrategie mit einem Aktionsplan entworfen.^{7, 8} Im Aktionsplan werden 63 Anpassungsmassnahmen in den Sektoren Wasserwirtschaft, Umgang mit Naturgefahren, Landwirtschaft, Waldwirtschaft, Energie, Tourismus, Biodiversitätsmanagement, Gesundheit und Raumentwicklung vorgestellt. Unter diesen Rahmenbedingungen hat der Bund das Pilotprogramm Anpassung an den Klimawandel lanciert. Dabei werden innovative Projekte zur Anpassung an den Klimawandel gefördert. Die Pilotprojekte umfassen folgende Themengebiete: Umgang mit lokaler

² Seneviratne, S., Orth, R., Jörg-Hess, S., Kruse, S., Seidl, I., Stähli, M., Zappa, M., Seibert, J., Staudinger, M., Stahl, K. Weiler, M. (2013): Trockenheit in der Schweiz. Ergebnisse des NFP-61-Projekts Drought.ch. – Aqua & Gas, 9, 38-47.

³ Schär, C., Vidale, P.L., Lüthi, D., Frei, C., Häberli, C., Liniger, M., Appenzeller, C. (2004): The role of increasing temperature variability in European summer heat waves. –Nature, 427, 332-336.

⁴ BAFU (Bundesamt für Umwelt) (2012): Umgang mit lokaler Wasserknappheit in der Schweiz. Bericht des Bundesrates zum Postulat „Wasser und Landwirtschaft. Zukünftige Herausforderungen“. UVEK: Bern.

⁵ Hohl, M., Brem, S., Balmer, J., Schulze, T., Holthausen, N., Vermeulen, E., Bohnenblust, H., Zulauf, C. (2013): Katastrophen und Notlagen Schweiz – Risikobericht 2012. Bundesamt für Bevölkerungsschutz (Hrsg.): Bern.

⁶ BLW (Bundesamt für Landwirtschaft) (2011): Klimastrategie Landwirtschaft. Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel für eine nachhaltige Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft.

⁷ BAFU (2012): Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz; Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder. Erster Teil der Strategie des Bundesrates

⁸ BAFU (2014) Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz; Aktionsplan 2014–2019. Zweiter Teil der Strategie des Bundesrates

Wasserknappheit/ Umgang mit Naturgefahren/ Management der Veränderungen in den Bereichen Ökosysteme und Biodiversität, Land- und Waldwirtschaft und Tiergesundheit/ Klimaangepasste Stadt- und Siedlungsentwicklung/ Wissenstransfer und Governance.⁹ Das Projekt „Bodenfeuchtemonitoring mit Informationssystem“ ist Teil des Pilotprogramms des Bundes zur Anpassung an den Klimawandel und ist dem Cluster „Umgang mit lokaler Wasserknappheit“ zugeordnet.

Das Pilotprojekt wurde je zur Hälfte vom BAFU und von den Zentralschweizer Umweltdirektionen (ZUDK) finanziert. Projektträger sind die ZUDK mit Thomas Joller und später David Widmer vom uwe Luzern als Projektoberleiter. Die Projektleitung und Projektausführung obliegt dem Unternehmen in-NET Monitoring AG. Weitere Projektpartner sind die Bodenschutzfachstelle Luzern (uwe Luzern), die Pfister Terra GmbH, das Landwirtschaftsamt des Kantons Luzern (Iawa Luzern) und die Agroscope.

Der vorliegende Schlussbericht fasst die Resultate des Pilotprojektes zusammen. Nach dem Kapitel Grundlagen werden in Kapitel 3 die Umfragen betreffend Trockenheit und Bewässerung, welche mit Landwirten in der Zentralschweiz durchgeführt wurden, zusammengefasst. In Kapitel 4 wird auf das während der Projektphase aufgebaute Messnetz in der Zentralschweiz eingegangen, die Messungen werden im darauf folgenden Kapitel analysiert. Das in Zusammenarbeit mit der Agroscope angewandte Bodenfeuchtemodell wird in Kapitel 6 erläutert und mit Messdaten verglichen. Der Massnahmenkatalog als Wissensgrundlage für den angepassten Umgang mit Trockenheit ist in Kapitel 7 zu finden.

1.1 Projektziele

Das übergeordnete Projektziel ist es, mittels Bodenfeuchtemessungen eine Informationsplattform für Obst-, Gemüse- und Beerenproduzenten zu erstellen, um eine effizientere Nutzung von Bewässerungswasser anzustreben und somit Ertragseinbussen infolge Trockenheit zu minimieren.

Im Projektantrag wurden folgende Ziele definiert:

- a) Echtzeit-Publikation der Messdaten und Datenarchiv auf einer öffentlichen Webseite mithilfe Online-Erfassung der Bodenfeuchte, Saugspannung, Temperatur und Niederschlag in unterschiedlichen klimatischen und landwirtschaftlichen Regionen der Zentralschweiz
- b) Informationssystem (Ampelsystem) für verschiedene Nutzniesser zum angepassten Umgang mit veränderter Bodenfeuchte
- c) Verringerung der Ertragseinbussen von Betroffenen
- d) Messtechnische Grundlage zur Validierung von Bodenfeuchtemodellen und Satellitendaten
- e) Grundlage für hydrologische und klimatologische Fragenstellungen (Abflussvorhersagen, Klimamodellierung)

⁹ BAFU (2014): Pilotprogramm Anpassung an den Klimawandel. <http://www.bafu.admin.ch/klima/13877/14401/index.html?lang=de>

Während der Projektphase wurde in Absprache mit dem BAFU entschieden, auf die öffentliche Homepage zu verzichten und die Online-Messwerte während der Projektphase nur den direkt betroffenen Produzenten zur Verfügung zu stellen. Nach Projektabschluss werden die Messdaten auf der ZUDK-Webseite als Datenfiles öffentlich zur Verfügung gestellt. Anstelle der Homepage wurde in Zusammenarbeit mit der Agroscope zusätzlich ein Bodenfeuchtemodell angepasst und validiert, mit dem Ziel aufzuzeigen, welches Potential und welche Anwendungsmöglichkeiten in den Messdaten liegen.

2 Grundlagen

2.1 Klimaveränderungen in der Schweiz

Das zukünftige Klima in der Schweiz wird durch globale Treibhausgasemissionen beeinflusst. Im Bericht „Szenarien zur Klimaänderung in der Schweiz CH 2011“ werden drei unterschiedliche Entwicklungen von zukünftigem Ausstoss von anthropogenen Treibhausgasen vorgestellt. Die mittlere jährliche Erwärmung wurde für die Schweiz berechnet. Zwei Szenarien gehen von einer weiteren Zunahme der Emissionen aus (Abbildung 1). Das Szenario A1B entspricht einer gleichmässigen Nutzung fossiler und nichtfossiler Energieträger. Das Szenario A2 geht von einer erhöhten Emission bis zum Ende des 21. Jahrhunderts aus. Das Emissionsszenario RCP3PD beschreibt die Reduzierung der globalen Treibhausgasemission um mindestens 50 % bis 2050 im Vergleich zum Jahr 1990. Die Temperatur in der Schweiz wird sich gemäss des Berichts sogar beim Stabilisierungsszenario RCP3PD um 1.4°C erhöhen. Bei einer Emissionszunahme der Treibhausgase (Szenarien A1B und A2) wird die Temperatur um mehr als 3°C ansteigen.¹⁰

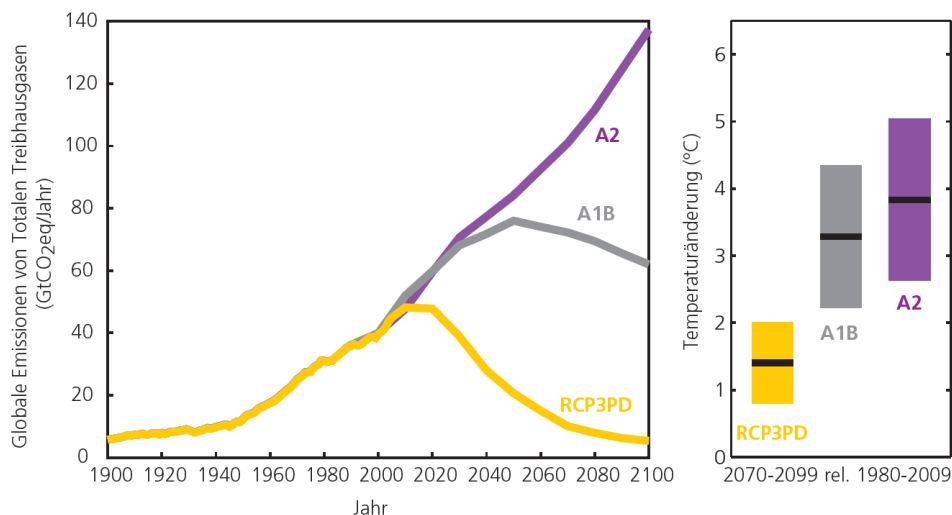


Abbildung 1: Klimaszenarien und Temperaturänderung in der Schweiz im 21. Jahrhundert

Mithilfe von Klimamodellen wird prognostiziert, dass die Niederschläge in der Schweiz im Winter zunehmen und im Sommer abnehmen werden. Trockenperioden werden sich im Sommer in den nächsten Jahren mit grosser Wahrscheinlichkeit häufen. Die Kombination von geringeren Niederschlägen und vermehrter Trockenheit im Sommer kann regional zu reduzierter Bodenfeuchte führen. Der Bewässerungsbedarf in der Schweizer Landwirtschaft wird zunehmen.¹¹

¹⁰ Appenzeller, C., Bey, I., Croci-Maspoli, M., Fuhrer, J., Knutti, R., Kull, C., Schär, C. (2011): Swiss Climate Change Scenarios CH2011. C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, OcCC: Zürich.

¹¹ Frei, C., Calanca, P., Schär, C., Wanner, H., Schädler, B., Haeberli, W., Appenzeller, C., Neu, U., Thal-mann, E., Ritz, C., Hohmann, R. (2007): Grundlagen. Extremereignisse. Aus: Klimaänderung und die Schweiz 2050. Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft. OcCC, Pro-Clim: Bern.

In der Studie von Fuhrer¹² wurde das Bewässerungspotenzial für die Schweizer Landwirtschaft berechnet. Fuhrer hat flächendetaillierte Modellrechnungen für sechs Testgebiete in der Schweiz vorgenommen. Anschliessend wurden die Ergebnisse auf die gesamte Schweizer Landwirtschaftsfläche extrapoliert, um das Bewässerungspotenzial zu erfassen. Die Simulation zum Wasserhaushalt und zum Bewässerungsbedarf erfolgte mit dem hydrologischen Modell WaSiM-ETH¹³. Es wurden keine kulturspezifischen Parameterwerte miteinbezogen. Um die gebietsspezifisch berechneten Bewässerungsmengen auf die gesamte landwirtschaftliche Fläche inklusive Grünland der Schweiz extrapolieren zu können, wurde die Mehrfachregression verwendet. Dieser Ansatz berücksichtigt die Abhängigkeit des Wasserbedarfs von klimatologischen, topographischen und pedologischen Bedingungen. Die ermittelten Bedarfsmengen wurden mit dem verfügbaren Wasserdargebot verglichen. Die Studie berücksichtigte hierbei nur die gemessenen Abflussdaten, da ungenügend Informationen zum Grundwasser vorlagen. Insgesamt wurde die Schweiz in 39 Regionen (Abbildung 2) eingeteilt.¹⁴

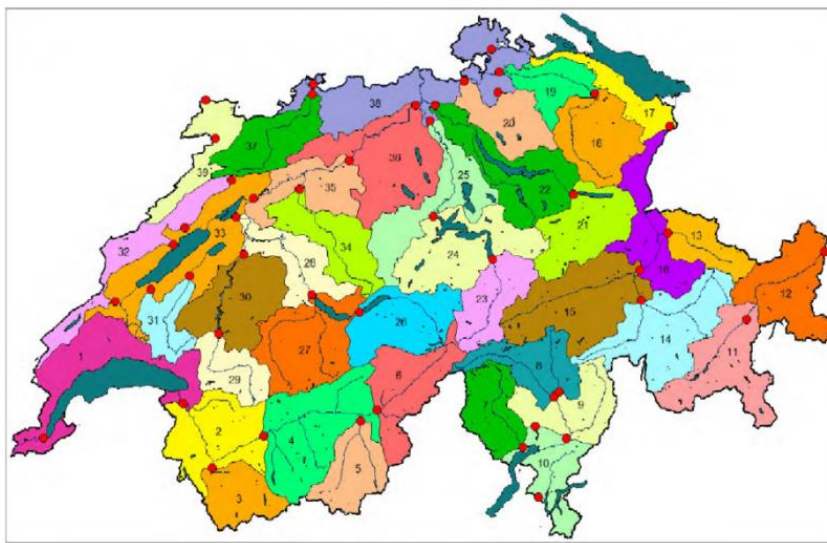


Abbildung 2: Die 39 Regionen der Schweiz mit Abflussstationen

Die Abschätzung des Dargebots an Bewässerungswasser erfolgte anhand von Abflussmessungen. Die mittleren monatlichen Abflusssummen wurden berechnet, wobei die Restwassermengen nicht berücksichtigt wurden. Der regionsspezifische und saisonale Bewässerungsbedarf wurde für den Zeitraum von 1981-2010 und das Trockenjahr 2003 berechnet. Es ist zu berücksichtigen, dass der Bewässerungsbedarf abhängig ist von Höhenlage, Gefälle, Boden und Klima. Höher gelegene Flächen weisen beispielsweise einen geringeren Bewässerungsbedarf auf, da der Niederschlag mit der Höhe zunimmt und die Verdunstung abnimmt.¹⁴

¹² Fuhrer, J. (2012): Bewässerungsbedarf und Wasserdargebot unter heutigen und künftigen Klimabedingungen. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz- Tänikon.

¹³ <http://www.wasim.ch/de> (Zugriff: 10.11.2016)

¹⁴ Fuhrer, J. (2012): Bewässerungsbedarf und Wasserdargebot unter heutigen und künftigen Klimabedingungen. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz- Tänikon.

Die folgenden zwei Karten zeigen den potenziellen jährlichen Bewässerungsbedarf der Schweiz für die einzelnen Regionen in Mio. m³ Wasser. Gelbe Gebiete weisen einen geringen Bewässerungsbedarf, die dunklen einen hohen Bewässerungsbedarf auf. Der Bewässerungsbedarf ist insbesondere im Trockenjahr 2003 (Abbildung 4) im Vergleich zur Periode von 1981-2010 (Abbildung 3) stark erhöht.

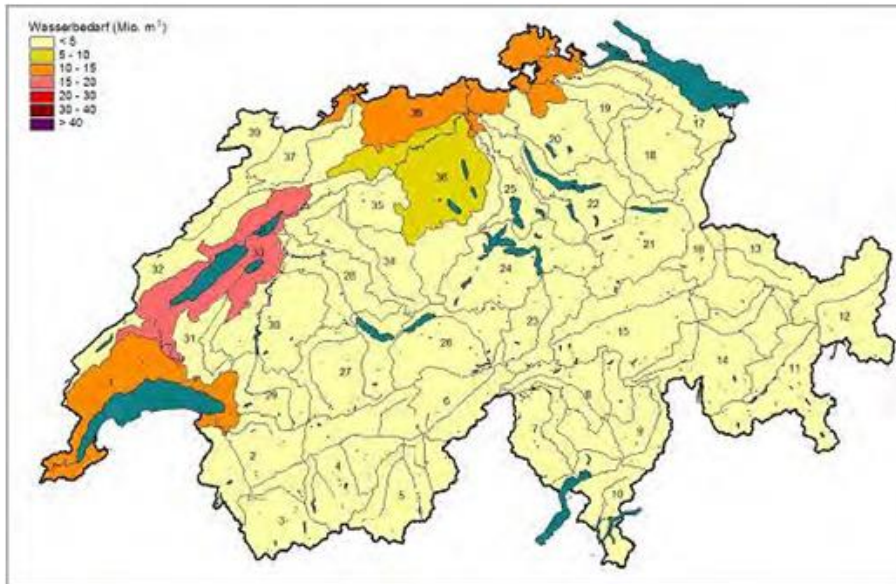


Abbildung 3: Mittlerer jährlicher Bewässerungsbedarf in der Schweizer Landwirtschaft für die Periode 1981-2010

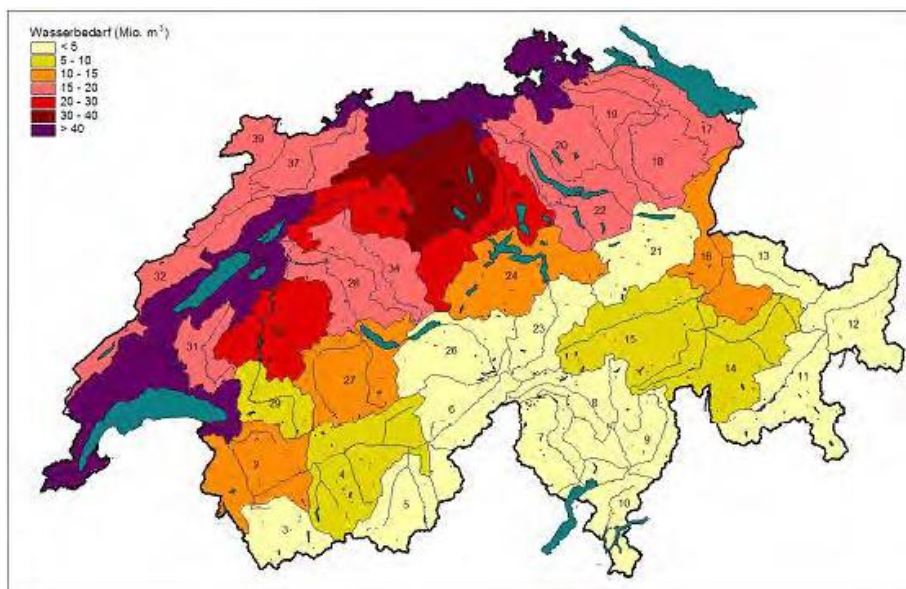


Abbildung 4: Mittlerer jährlicher Bewässerungsbedarf in der Schweizer Landwirtschaft im Trockenjahr 2003

Es ist anzumerken, dass bei dieser Studie der potenzielle Bewässerungsbedarf¹⁵ berechnet wurde. Um den aktuellen Bewässerungsbedarf der einzelnen Regionen zu ermitteln, sind boden- und kulturspezifische Parameter miteinzubeziehen und der Fokus sollte sich auf trockenempfindliche Kulturen beschränken.¹⁶ Dennoch gab die Studie wichtige Hinweise auf mögliche Standorte für Messstationen in der Zentralschweiz.

Landwirte, welche bis anhin genügend Wasser für ihre Nutzflächen zur Verfügung hatten, könnten folglich mit fortschreitendem Klimawandel schon bald mit trockeneren Böden konfrontiert werden. Es wird immer wichtiger, Wasser effizient zu nutzen, um Ertragseinbussen in der Landwirtschaft zu minimieren und eine nachhaltige Nutzung des Bewässerungswassers zu erreichen. Für eine bedarfsorientierte Bewässerungssteuerung braucht es standortspezifische Daten zu Boden inklusive gemessener Bodenfeuchte, Klima und Bewirtschaftung.

2.2 Boden

In den folgenden Unterkapiteln werden einige wichtige Fachbegriffe zur Beschreibung des Bodens erläutert.

2.2.1 Bodenwasserhaushalt

Der Bodenwasserhaushalt beschreibt die ein- und austretenden Wasserflüsse (Niederschlag, Evapotranspiration, Abfluss) sowie die Änderungen des Wasservorrats im Boden. Der Wasserhaushalt ist von meteorologischen Faktoren und der Bewirtschaftung abhängig. Die Speicher- und Leitfähigkeitseigenschaften eines Bodens unterscheiden sich je nach Gefüge und Bodenart.¹⁷

2.2.2 Bodengefüge

Das Bodengefüge beschreibt die Anordnung von Mineralen und Humus im Boden. So entsteht ein Hohlraumssystem, welches aus Fein-, Mittel- und Grobporen besteht. Die Poren sind mit der Bodenlösung (Wasser und gelöste Stoffe) und der Bodenluft gefüllt. Zwischen den Phasen entstehen physikalische und chemische Wechselwirkungen.¹⁸ Die Poren haben unterschiedliche Funktionen. Die Wasserversickerung und der Gasaustausch erfolgt in den Grobporen. In den Mittelporen wird pflanzenverfügbares Wasser gespeichert, während in den Feinporen nicht pflanzenverfügbares Wasser, das sogenannte Totwasser (TW), gespeichert wird.¹⁹

¹⁵ Wasserbedarf, der nötig wäre um Ertragsverluste zu vermeiden ohne Berücksichtigung der Bewässerungseffizienz. Aus Fuhrer, J. (2012)

¹⁶ Fuhrer, J. (2012): Bewässerungsbedarf und Wasserdargebot unter heutigen und künftigen Klimabedingungen. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon.

¹⁷ GeoDZ.com (2010): Bodenwasserhaushalt. <http://www.geodz.com/deu/d/Bodenwasserhaushalt> (Stand: 2010) (Zugriff: 10.07.14).

¹⁸ Scheffer/Schachtschabel (2010): Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag: Heidelberg.

¹⁹ Weisskopf, P., Zihlmann, U., Oberholzer, H.-R., Anken, T., Holpp, M. (2014): Beeinflussen des Wasserhaushaltes von Ackerböden durch Bewirtschaftungsmassnahmen. Fachtagung "Wasser in der Landwirtschaft": Agroscope Zürich-Reckenholz.

2.2.3 Feinerdekörnung oder Bodenart

Die Feinerdekörnung oder Bodenart genannt beschreibt die Korngrößenverteilung der mineralischen Feinerde (alle Körnungsfractionen < 2 mm) eines Bodens. Sie wird den Fractionen Ton ($\varnothing < 0.002$ mm), Schluff ($0.002 \text{ mm} < \varnothing < 0.05 \text{ mm}$) und Sand ($0.05 \text{ mm} < \varnothing < 2 \text{ mm}$) zugeordnet (Abbildung 5).

Hauptfraktionen	$\varnothing$	Unterfraktionen	$\varnothing$
Ton	< 0,002 mm	Feinton	< 0,0002 mm
		Grobton	0,0002 - 0,002 mm
Schluff	0,002 - 0,05 mm	Feinschluff	0,002 - 0,02 mm
		Grobschluff (Staub)	0,02 - 0,05 mm
Sand	0,05 - 2,0 mm	Feinsand	0,05 - 0,2 mm
		Mittelsand	0,2 - 0,5 mm
		Grobsand	0,5 - 2,0 mm

Abbildung 5: Fraktionen der mineralischen Feinerde

Je nach Verteilung wird die Feinerde des Bodens in eine Bodenart eingeteilt (Abbildung 6).

Code	Körnungsklasse	Abkürzung	Gewicht % der mineralischen Feinerde	
			Ton	Schluff
1	Sand	S	< 5	< 15
2	schluffiger Sand	uS	< 5	15 - 50
3	lehmiger Sand	IS	5 - 10	< 50
4	lehmreicher Sand	IrS	10 - 15	< 50
5	sandiger Lehm	sL	15 - 20	< 50
6	Lehm	L	20 - 30	< 50
7	toniger Lehm	tL	30 - 40	< 50
8	lehmiger Ton	IT	40 - 50	< 50
9	Ton	T	> 50	< 50
10	sandiger Schluff	sU	< 10	50 - 70
11	Schluff	U	< 10	> 70
12	lehmiger Schluff	IU	10 - 30	> 50
13	toniger Schluff	tU	30 - 50	> 50

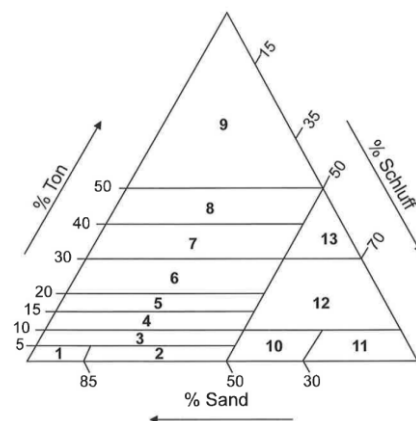


Abbildung 6: Körnungsklassen oder Bodenart (in der Tabelle oder als Dreiecksdiagramm)

Bodenbestandteile grösser als 2 mm werden als Grobboden oder Bodenskelett bezeichnet. Dazu werden Kies und Steine gezählt.²⁰

2.2.4 Pflanzennutzbare Gründigkeit (pnG)

Die pflanzennutzbare Gründigkeit bezeichnet die Mächtigkeit des durchwurzelbaren Teils eines Bodens. Dazu werden von der Durchwurzelungstiefe Skelett und verdichtete oder ständig wassergesättigte Zonen abgerechnet. Für wasserbeeinflusste Zonen gibt es einen festgelegten prozentualen Abzug.

²⁰ FAL Zürich Reckenholz (1997): Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden

2.2.5 Bodenfeuchte

Bei einem wassergesättigten Boden gelangt ein Teil des Wassers in tiefere Schichten, das sogenannte Sickerwasser. Es bildet das Grund- und Stauwasser. Der Anteil des Wassers, welcher gegen die Schwerkraft gehalten wird, wird als Bodenfeuchte oder Haftwasser bezeichnet. Die Bodenfeuchte setzt sich aus dem Adsorptionswasser, eine dünne Wasserhülle rund um die Bodenpartikel, und dem Kapillarwasser, welches in feineren Poren bleibt und Menisken ausbildet, zusammen.²¹

Im vorliegenden Projekt werden zwei Messprinzipien zur Bestimmung der Bodenfeuchte angewendet:

- **Messung des Wassergehalts bzw. volumetrische Messung z.B. mit TDR-, FDR-Sensoren (Kapitel 4.8.2):** (Time Domain Reflectometry-, Frequency Domain Reflectometry-Sensoren)
Der Messwert wird in Volumenprozent Wasser angegeben. Der Boden ist umso feuchter, je höher der Wert ist.
- **Messung der Saugspannung z.B. mit Tensiometern (Kap. 4.8.1):**
Der Messwert gibt die Saugspannung des Bodens in cbar oder hpa an. Er beschreibt die Kraft, mit welcher die Pflanzen das Wasser aus dem Boden ziehen müssen. Der Boden ist umso trockener, je grösser der Wert ist.

2.2.6 Feldkapazität und Permanenter Welkepunkt

Die Feldkapazität (FK) und der Permanente Welkepunkt (PWP) sind charakteristische Wassergehaltsdefinitionen im Boden, die sich bei bestimmten Verhältnissen einstellen. Unter dem Begriff der FK versteht man die Wassermenge, die der Boden nach einem Niederschlagsereignis noch 2 bis 3 Tage gegen die Schwerkraft halten kann. Entleert sich der Wasservorrat des Bodens weiter und wird er nicht mehr nachgefüllt, so wird der PWP bei einem bestimmten Wassergehalt erreicht. Der PWP beschreibt die Grenze des Wassergehalts im Boden, ab welcher die Pflanze irreversibel geschädigt wird bzw. verwelkt. Die Differenz zwischen dem Wassergehalt bei FK und PWP wird als nutzbare Feldkapazität (nFK) bezeichnet. Es beschreibt den Wasservorrat des Bodens, der von der Pflanze genutzt werden kann.²²

2.2.7 Matrixpotential

Das Matrixpotential gibt an, wie stark das Wasser in den Poren zurückgehalten wird. Diese Bindungsintensität wird auch als Saugspannung bezeichnet. In den feineren Poren wird das Wasser stärker zurückgehalten. Ein trockener Boden weist eine hohe Saugspannung, ein nasser Boden eine tiefe Saugspannung auf. Das Matrixpotential entsteht durch die Adsorptions- und Kapillarkräfte.²²

2.2.8 Optimale Bodenfeuchtebereiche

Um den Zeitpunkt der Bewässerung und die Bewässerungsgabe zu bestimmen, werden Informationen zur aktuellen Bodenfeuchte, Wasserkapazität des Bodens und nutzbaren Bodentiefe benötigt.

²¹ Freie Universität Berlin (2007): Einteilung des Bodenwassers. http://www.cms.fu-berlin.de/geo/fb/e-learning/pg-net/themenbereiche/bodengeographie/einfuehrung/bodenbestandteile/bodenwasser/bodenwasser_einteilung (Stand: 2007) (Zugriff: 12.06.14).

²² Scheffer/Schachtschabel (2010): Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag: Heidelberg.

Die Bewässerungsgabe beschreibt die Menge und Intensität der Bewässerung. Die Verfügbarkeit des Bodenwassers ist von den Bodeneigenschaften und der nutzbaren Bodentiefe abhängig. Die maximale Wasserkapazität des Bodens ist die FK. Das pflanzenverfügbare Wasser entspricht der nFK. Die nFK ist abhängig von der Bodenart und der Dichte des Bodens (z.B. Bodenbearbeitung, Verdichtungen, Humusgehalt).²³

Tabelle 1 zeigt unterschiedliche nutzbare Bodentiefen nach Kulturpflanzen.²³

Tabelle 1: Nutzbare Bodentiefen nach Kulturpflanzen

Kultur	Nutzbare Bodentiefe [cm]
Kopfsalat, Erdbeere, Spinat, Strauchobst	20-30
Bohne, Gurke, Zwiebel, Tomate	30-60
Sommergetreide, Kernobst	bis 60
Wintergetreide, Mais, Tabak, Kohl, Weinrebe	60-90
Zuckerrüben, Spargel	90 und mehr

Sandböden weisen eine geringere nFK auf und haben eine schlechtere Wasserkapazität. Solche Böden werden daher mit kleineren Bewässerungsgaben, aber häufiger bewässert. Lehm Böden werden dementsprechend seltener, aber mit grösseren Mengen bewässert.

Zuckerrüben werden beispielsweise bewässert, wenn die Bodenfeuchte unter 40-50 % der nFK absinkt. Kopfsalat, Frischgemüse und Erdbeeren werden bereits bei 60-70 % der nFK bewässert. Es sollte bis auf etwa 80 % der nFK bewässert werden und nicht auf 100 %, da durch unvorhergesehene Niederschläge das Bodenwasser versickern könnte und wertvolle Nährstoffe ausgewaschen werden. Durch zu hohe Bewässerungsmengen kann ein Sauerstoffmangel im Boden entstehen und Fäulnis-schaden an den Wurzeln hervorrufen. Die Höhe der erforderlichen Bewässerungsmenge variiert ebenfalls stark. Der Anteil an pflanzenverfügbarem Wasser ist dabei entscheidend.^{24,25}

²³ Landesanstalt für Pflanzenbau (2002): Beregnung und Bewässerung landwirtschaftlicher und gärtnerischer Kulturen. https://www.landwirtschaft-bw.info/pb/site/lel/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/lrahd/mb_beregnung.pdf, (Stand: 2002) (Zugriff: 9.07.14).

²⁴ Thon, A. (2010): Dörren oder ertränken? Bewässerungsanlagen richtig konzipieren. Skript zum Vortrag. <http://www.bdla.de/pdf/2010-Thon.pdf> (Stand: 2010) (Zugriff: 11.07.14).

²⁵ Landesanstalt für Pflanzenbau (2002): Beregnung und Bewässerung landwirtschaftlicher und gärtnerischer Kulturen. https://www.landwirtschaft-bw.info/pb/site/lel/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/lrahd/mb_beregnung.pdf (Stand: 2002) (Zugriff: 9.07.14).

In der Praxis werden Tensiometer oder Watermark-Sensoren eingesetzt, welche die Saugspannungen des Bodens messen, um die Bewässerung der Kulturen zu steuern. Die Tensiometer und Watermark-Sensoren messen die Saugspannung, welche unmittelbar Rückschlüsse auf den Trockenheitszustand der Pflanze zulässt. Die Watermark-Sensoren sind in der Regel weniger genau als Tensiometer.

2.3 Klima in der Zentralschweiz

Niederschlag und Verdunstung sind neben den Bodeneigenschaften und der Bewirtschaftung entscheidende Faktoren für die Bewässerungssteuerung. Ist die Verdunstung grösser als der Niederschlag, nimmt das im Boden gespeicherte Wasser ab. Trockenperioden treten auf und es muss bewässert werden.²⁴

2.3.1 Niederschlag

Die Zentralschweizer Kantone Luzern, Zug, Schwyz, Uri, Nidwalden und Obwalden zeigen eine grosse Niederschlagsvariabilität (Abbildung 7).²⁶ Weisse, gelbe und hellgrün markierte Gebiete sind niederschlagsarm. Niederschlagsreiche Gebiete sind dunkelblau bis rot dargestellt. Der mittlere langjährige Niederschlag der Zentralschweiz (rot markiert) von 1981-2010 variiert zwischen etwa 2500 mm im Gebirge und 900 mm Niederschlag im nördlichen Mittelland in Luzern. Es ist deutlich zu erkennen, dass insbesondere der nördliche Teil der Kantone Luzern und Zug sowie die Talregionen (Sarneraatal, Urner Reusstal) eher geringe Niederschlagswerte im Vergleich zum Rest der Zentralschweiz aufweisen.

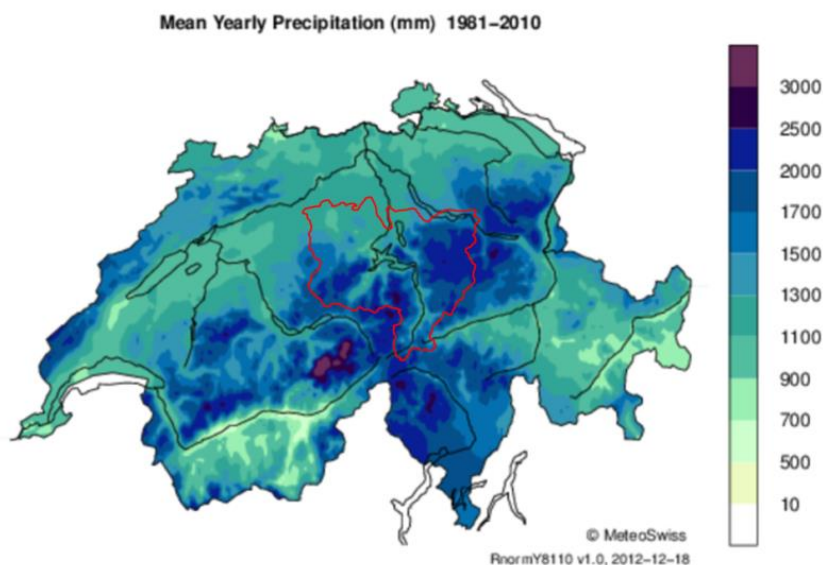


Abbildung 7: Jahresniederschlag Schweiz, Norm 1961-2010

²⁶ Klimanormwerte-Karten. http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_schweiz/Klimakarten_schweiz_1961-90.html (Stand: 2012) (Zugriff: 18.06.14).

2.3.2 Verdunstung

Die mittlere Jahresverdunstung der Schweiz beträgt 484 mm. Dieser Wert wurde mittels Energiebilanz berechnet. Mehr als 80 % der von der Sonne eingestrahlten Energie wird zur Verdunstung von Wasser benötigt. Die restlichen 20 % sorgen für die Erwärmung der Erdoberfläche. Die Lufttemperatur ist stark von der Verdunstung abhängig. Die potenzielle Verdunstung wird bei optimalen Feuchteverhältnissen vom Zustand der Atmosphäre bestimmt. Die reale oder aktuelle Verdunstung entspricht der tatsächlich verdunsteten Wassermenge und wird durch das Wasserangebot limitiert. Sie liegt meist unterhalb der potenziellen Verdunstungswerte. Die reale Verdunstung ist abhängig vom Bodenwassergehalt und der Bodenbedeckung. Bei geringer Bodenbedeckung trocknet der Boden schnell aus. Die Erwärmung der Oberfläche nimmt zu. Die Verdunstung nimmt mit zunehmender Höhe ab. Dies lässt sich vor allem auf die Schneebedeckung zurückführen. Schneebedeckte Flächen reflektieren die Sonnenstrahlung um rund 70 %, Flächen ohne Schnee um weniger als 20 %.²⁷

Die Karte in Abbildung 8 veranschaulicht die mittlere Jahresverdunstung in der Schweiz von 1973-1992. In der Zentralschweiz sind tiefe Verdunstungsraten besonders in den Kantonen Uri, Schwyz, Obwalden und Nidwalden in den Gebirgsregionen auszumachen. Die nördlichen Gebiete der Kantone Luzern, Zug und Schwyz weisen deutlich höhere Verdunstungsraten auf.

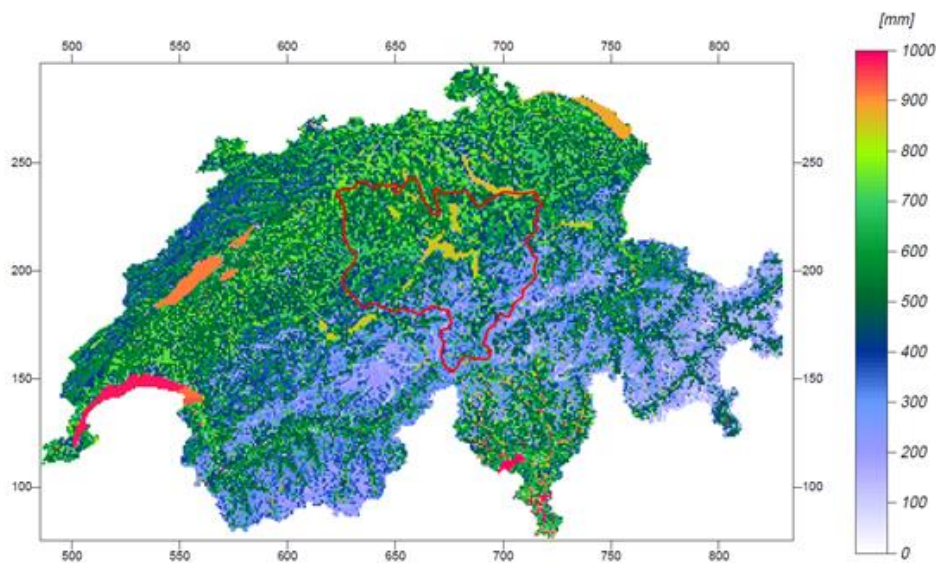


Abbildung 8: Mittlere Jahresverdunstung der Schweiz von 1973-1992 in mm.

2.4 Bewässerungsbedarf in der Zentralschweiz

In Kapitel 2.1 wurde der potenzielle Bewässerungsbedarf der landwirtschaftlichen Nutzflächen der Schweiz beschrieben. In diesem Kapitel wird auf den Bewässerungsbedarf in der Zentralschweiz eingegangen. Die Karten zeigen die Situation für das Trockenjahr 2003 als Wasserbedarf in Mio. m³ pro

²⁷ Spreafico, M., Weingartner, R. (2005): Hydrologie der Schweiz. Bundesamt für Wasser und Geologie: Bern.

Region und in m³/ha. Es sind laut der Studie von Fuhrer²⁸ insbesondere die Nutzflächen im Norden und Westen des Kantons Luzern, im Kanton Zug sowie nördliche Gebiete im Kanton Schwyz bewässerungsbedürftig (Abbildung 9). Die Voralpen sowie die Gebirgsregionen in der Zentralschweiz weisen einen geringen bis sehr geringen Bewässerungsbedarf für die Landwirtschaft auf.

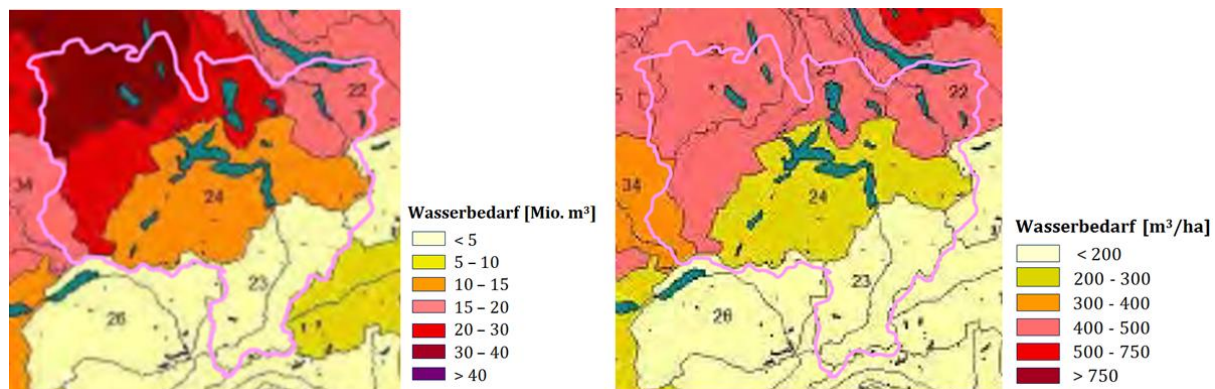


Abbildung 9: Ausschnitt Zentralschweiz: Potentieller Bewässerungsbedarf im Jahr 2003

2.5 Landwirtschaft Zentralschweiz

In der Schweiz gibt es 54'046 landwirtschaftliche Betriebe, wovon sich 8'692 Betriebe in der Zentralschweiz befinden (Tabelle 2). Dies entspricht einem Anteil von 16 %.²⁹

Tabelle 2: Kennzahlen der Landwirtschaftsbetriebe 2014 (Auszug aus Tabelle Kantone und Grossregionen)

	Landwirtschaftsbetriebe			Nutzfläche in ha (ohne Sömmerungsweiden)			Nutztierbestände		Arbeitskräfte	
	Total	Haupt- erwerbs- betriebe in %	Bio- Betriebe in %	Total	Pro Betrieb	Pro Haupt- erwerbs- betrieb	Rindvieh	Schweine	Total	Vollzeit- beschäftigte in %
Schweiz	54 046	71,9	11,5	1 051 183	19,4	23,7	1 562 801	1 498 321	158 762	45,1
Zentralschweiz	8 692	72,0	10,3	132 659	15,3	18,0	254 004	485 454	24 065	40,8
Luzern	4 746	74,1	7,2	76 993	16,2	18,8	149 205	424 415	13 523	43,1
Nidwalden	457	72,0	15,3	6 023	13,2	15,0	11 934	11 064	1 245	37,3
Obwalden	661	71,3	27,5	7 839	11,9	14,3	17 738	10 688	1 632	39,2
Schwyz	1 647	71,1	9,9	24 449	14,8	17,6	43 325	19 258	4 345	38,2
Uri	602	56,0	9,0	6 728	11,2	14,6	11 316	1 941	1 545	28,5
Zug	579	74,6	13,8	10 628	18,4	21,1	20 486	18 088	1 775	44,2

Tierhaltung ist die Haupteinnahmequelle der **Luzerner** Landwirtschaft. Die Flächen werden vorwiegend als Wiesen und Weiden genutzt. Der Ackerbau macht 17 % der Nutzfläche aus und ist somit von

²⁸ Fuhrer, J. (2012): Bewässerungsbedarf und Wasserdargebot unter heutigen und künftigen Klimabedingungen. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon.

²⁹ Lustat.ch (2016): LUSTAT. Land- und Forstwirtschaft. <https://www.lustat.ch/daten/landwirtschaft-forstwirtschaft?fachbereich=134&unterbereich=247&stichwort=&raumtyp=&raumauspraegung=> (Zugriff: 1.11.16)

geringerer Bedeutung. Der Anteil an Obst- und Beerenfläche beträgt 4 %. Die Hauptanbaugebiete liegen im Luzerner Seetal und in den Seeregionen.³⁰ Der Kanton Luzern ist mit 51 ha Beerenkulturen (Erdbeeren und Strauchbeeren) das sechstgrösste Anbaugebiet der Schweiz. Die Hauptanbaugebiete für Erdbeeren sind im Seetal und Surental.³¹ Im Obstbau ist Luzern ein Nebenanbaugebiet in der Schweiz. Die Luzerner Gemüseanbaufläche beträgt insgesamt 203 ha Nutzfläche.³²

Im Kanton **Zug** wird rund die Hälfte der Kantonsfläche landwirtschaftlich genutzt. Zwei Drittel dieser Flächen liegen in der Bergzone. Die wichtigste landwirtschaftliche Einnahmequelle ist die Milch- und Viehwirtschaft. Obstbau gibt es vor allem im Ennetsee (am Westufer des Zugersees liegende Gemeinden Steinhausen, Cham, Hünenberg und Risch). In den Berggemeinden werden hauptsächlich Kirsch- und Birnenkulturen angebaut.³³

Im Kanton **Uri** herrschen Viehzucht und Alpwirtschaft vor. Knapp drei Viertel der Urner Landwirtschaftsbetriebe halten Milchkühe. Die Bedeutung der Kernobstbäume mit drei kleineren Obstanlagen im Kanton ist sehr gering.³⁴

Die Landwirtschaft im Kanton **Schwyz** ist ähnlich wie im Kanton Uri von Viehzucht und Milchwirtschaft geprägt. 75 % der landwirtschaftlichen Fläche befinden sich in der Bergzone. Es gibt vorwiegend Grünland, Wiesen und Weiden. In den flacheren Gebieten des Kantons wird Acker-, Beeren-, Obst- und Gemüsebau betrieben. Es werden rund 40 % der Kantonsfläche landwirtschaftlich genutzt, davon 1.5 % für Obstbau, 5.3 % für Gemüsebau und 0.1 % für Ackerbau.³⁵

Die landwirtschaftlichen Betriebe im Kanton **Nidwalden** sind aufgrund der Topographie auf die Viehwirtschaft ausgerichtet.³⁶

Die Landwirtschaft im Kanton **Obwalden** ist ebenfalls auf Rindviehhaltung ausgerichtet. 80 % der Betriebe befinden sich im Berggebiet.

³⁰ Schweizerischer Obstverband (o.A.): Obst- und Beerenbau. <http://www.luzernerbauern.ch/fileadmin/images/2009/Dienstleistungen/DL-Angebot/Leuchtk%C3%A4sten/luga-leuchtbild1-obst-090326.pdf> (Zugriff: 10.06.14).

³¹ Kanton Luzern (2006): Der Obstbau im Kanton Luzern. Landwirtschaft und Wald: Luzern.

³² Luzernerbauern.ch (o.A.): Gemüseanbau. <http://www.luzernerbauern.ch/fileadmin/images/2009/Dienstleistungen/DL-Angebot/Leuchtk%C3%A4sten/luga-leuchtbild1-gemuese-090326.pdf> (Zugriff: 20.06.14).

³³ Kanton Zug (o.A.): Zuger Landwirtschaft. <http://www.zg.ch/behoerden/volkswirtschaftsdirektion/landwirtschaftsamt/zuger-landwirtschaft> (Zugriff: 10.06.14)

³⁴ Urikon.ch (2013): Landwirtschaft in Uri. http://www.urikon.ch/UR_Wirtschaft/UR_Land_Landwirtschaft.aspx (Stand: 2013) (Zugriff: 05.06.14)

³⁵ Landwirtschaftlicher Informationsdienst LID (2010): Vielfalt im Herzen der Schweiz. http://www.landwirtschaft.ch/fileadmin/user_upload/lid/Produkte/Kantonsbroschueren/55267d_Broschuere_Schwyz_Landwirtschaft.pdf (Stand: 2010) (Zugriff: 10.06.14)

³⁶ Kanton Nidwalden (2005): Ziele und Leitbild für die kantonale Agrarpolitik. Forum Landwirtschaft Nidwalden: Beckenried

2.6 Trockenkritische Kulturen in der Zentralschweiz

2.6.1 Obstbau

Optimal für das Wachstum von **Apfelbäumen** ist ein feuchter, aber wasserdurchlässiger Boden, am besten humusreich und leicht sauer. Apfelbäume sind empfindlich gegenüber Staunässe. Der Apfelbaum ist ein Flachwurzler und daher ebenfalls empfindlich gegen länger anhaltende Trockenheit.³⁷

Tiefgründige, humose, gut durchlüftete, nährstoffreiche und mässig feuchte Böden sind ideal für den Anbau von **Birnenkulturen**. Sie reagieren empfindlich auf Trockenheit.³⁸ Der Wasserbedarf der Birne ist aber niedriger als für den Apfel.³⁹

Erdbeerkulturen sind anspruchsvoll bezüglich der Wasserversorgung. Wassermangel führt zu verminderten Erträgen und Qualitätseinbussen. Sie reagieren sehr empfindlich auf kurzfristigen Wassermangel. Erdbeeren sind auf ausreichende Bewässerung angewiesen.⁴⁰

Himbeeren wachsen am besten an sonnigen, windgeschützten Lagen mit genügend Bodenfeuchte. Sie reagieren empfindlich auf Trockenheit.⁴¹

Heidelbeeren sind empfindlich gegenüber Trockenheit. Das flache Wurzelwerk ist gegen Austrocknung besonders empfindlich. Zudem verfügt die Heidelbeere nicht über spezielle Anpassungen an wechselfeuchte Bedingungen, so dass sie auf eine gleichmäßig hohe Bodenfeuchte angewiesen ist. Bei Trockenheit kann es schnell zu hohen Wasserverlusten und Blattschäden kommen. Der Boden im Wurzelraum muss gleichmäßig durchfeuchtet sein. Daher können zum Beispiel bei Sommertrockenheit Zusatzbewässerungen erforderlich werden. Trockenheit während der Blüte führt zu einem schwachen oder schadhaften Fruchtansatz, bei dem sich nur wenige Beeren ausbilden; Teile des Fruchtansatzes bleiben leer.⁴²

Kirschenbäume wachsen besonders gut an sonnigen Standorten, reagieren aber empfindlich auf Trockenheit. Kirschen sind Flachwurzler und längere Trockenperioden wirken sich daher negativ auf Fruchtgröße und Wachstum aus.^{43, 44}

³⁷ Gartendatenbank.de (2011): Apfelbaum Pflege Apfelbaumschnitt Kultur-Apfel. <http://www.gartendatenbank.de/wiki/malus-domestica> (Stand: 2011) (Zugriff: 10.06.14)

³⁸ Landwirtschaftlicher Informationsdienst LID (2014): Birnen. <http://www.landwirtschaft.ch/de/wissen/pflanzen/obstbau/birne/> (Stand: 2014) (Zugriff: 05.06.14).

³⁹ Ulmer.de (2014): Birnenanbau: Anforderungen an den Standort. <http://www.ulmer.de/Birnenanbau-Anforderungen-an-den-Standort,QUIEPTI2MzQ4NSZNSUQ9MzlxMA.html> (Stand: 2014) (Zugriff: 10.06.14).

⁴⁰ Provincia.bz.it (o.A.a): Anleitungen für den Anbau von Erdbeeren. <http://www.provincia.bz.it/land-hauswbildung/download/Erdbeeren.pdf> (Zugriff: 06.06.14)

⁴¹ Provincia.bz.it (o.A.b): Anleitungen für den Anbau von Himbeeren. <http://www.provincia.bz.it/land-hauswbildung/download/Himbeeren.pdf> (Zugriff: 23.06.14)

⁴² <https://de.wikipedia.org/wiki/Kulturheidelbeeren>

⁴³ Gamper, P., Schmuhi, J., Zago, M. (2013): Anbauanleitung Süsskirsche. http://www.provinz.bz.it/land-hauswbildung/download/Suesskirsche_2013.pdf (Stand: 2013) (Zugriff: 06.06.14)

⁴⁴ Schwizer, T. (2013): Mit der richtigen Bewässerung zum Erfolg. Schweizer Zeitschrift für Obst- und Weinbau. 149, 10-13.

Die optimalen Bodenfeuchten der Obst- und Beerenkulturen sind in Tabelle 3 ersichtlich.

Tabelle 3: Optimale Bodenfeuchtebereiche für trockenkritische Obstsorten⁴⁵

Frucht	Optimaler Bodenfeuchtebereich [cbar]	Empfohlene Messtiefe [cm]	Bewässerungszeitpunkt
Apfel	10-50	-40	Volumenzunahme der Früchte
Birne	10-50	-40	Volumenzunahme der Früchte
Erdbeere	10-25	-20	Permanent
Heidelbeere ⁴⁶	10-30	-20	Blüte und Fruchtbildung
Himbeere	10-45	-30	Blüte und Fruchtbildung
Kirsche	10-45	-40	Volumenzunahme der Früchte

2.6.2 Gemüsebau

Der **Blumenkohl** wächst bei mässig warmem und feuchtem Klima. Er benötigt nährstoffreiche Böden mit hohem Humusgehalt und guter Wasserführung. Blumenkohl ist anfällig auf Hitzestress. Er reagiert bereits bei kurzen Trockenperioden sehr empfindlich.⁴⁷

Der **Kopfkohl** gedeiht am besten auf schweren, tiefgründigen, nährstoffreichen und humosen Böden. Er wächst an feuchten Standorten.⁴⁸

Der **Rhabarber** wächst auf vielen Böden, er benötigt lediglich genügend Nährstoffe. Der Rhabarber reagiert empfindlich auf Trockenheit und muss bei länger anhaltenden Trockenperioden bewässert werden.⁴⁹

Der **Sellerie** bevorzugt tiefgründige und nährstoffreiche Böden mit hohem Humusgehalt. Sellerie ist ein Flachwurzler und hat einen sehr hohen Wasserbedarf.⁵⁰

Zudem gelten Salat, Karotten, Kohlrabi und Radieschen als eher trockenkritische Kulturen.⁵¹

⁴⁵ Hageneder, F., Beck, M. (o.A.): Tensiometer zur Messung der Bodenfeuchte. Hochschule Weihenstephan-Triesdorf. http://www.lwg.bayern.de/gartenbau/gemuesebau/39858/linkurl_2.pdf (Zugriff: 23.06.14).

⁴⁶ <https://www.saelens.de/downloads/send/2-anleitungen/1-tensiometer-anleitung> (Zugriff: 04.11.2016)

⁴⁷ Konrad, P., Knapp, L. (2011): Kulturblatt Blumenkohl und Broccoli. Bildungs- und Beratungszentrum Arenenberg: Salenstein.

⁴⁸ Planer, J. (o.A.): Kopfkohl. http://www.was-wir-essen.de/hobbygaertner/kulturen_gemuese_kopfkohl.php (Zugriff: 25.06.14).

⁴⁹ Meyer-Rebentisch, K. (2014): Anbau von Rhabarber im Garten. <http://www.gemuese-info.de/rhabarber/garten.html> (Stand: 2014) (Zugriff: 24.06.14).

⁵⁰ Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft BMLFUW (2012): Vital durch den Winter – mit Lagergemüse. <http://www.bmlfuw.gv.at/lebensmittel/qs-lebensmittel/lebensmittel/obst-gemuese/Herbst.html> (Stand: 2014) (Zugriff: 24.06.14).

⁵¹ Anita Imhof, Imhof Gemüse, Attinghausen

Die optimalen Bodenfeuchtebereiche für die oben genannten Gemüsesorten sind in Tabelle 4 ersichtlich.

Tabelle 4: Optimale Bodenfeuchtebereiche für trockenkritische Gemüsesorten⁵²

Gemüse	Optimaler Bodenfeuchtebereich [cbar]	Empfohlene Messtiefe [cm]	Bewässerungszeitpunkt
Blumenkohl	10-35	-20	Kopfentwicklung
Kopfkohl	10-35	-20	Kopfentwicklung
Rosenkohl	10-25	-20	Rosenentwicklung
Sellerie	10-25	-20	Permanent
Tomaten	10-45	-20	Volumenzunahme
Zwiebeln	10-25	-20	Zwiebelbildung, Volumenzunahme

⁵² Hageneder, F., Beck, M. (o.A.): Tensiometer zur Messung der Bodenfeuchte. Hochschule Weihenstephan-Triesdorf. http://www.lwg.bayern.de/gartenbau/gemuese/bau/39858/linkurl_2.pdf (Zugriff: 23.06.14).

3 Umfrage Landwirte: Erfahrung Wassernutzung Zentralschweiz

Nebst den im Kapitel 2 beschriebenen theoretischen Grundlagen wurden mittels Experteninterviews die praktische Erfahrung der Landwirte bezüglich Wassernutzung und dem Umgang mit Trockenheit in der Zentralschweiz in Erfahrung gebracht.

Dazu wurden 12 Obst-, Gemüse- und Beerenproduzenten in den Zentralschweizer Kantonen befragt. Davon befinden sich 6 Produzenten im Kanton Luzern, 2 im Kanton Schwyz und je ein Produzent in den Kantonen Uri, Nidwalden, Obwalden und Zug. Es wurden vor allem Landwirte aus den Alterskategorien zwischen 30 und 60 Jahren befragt.

Es wurden sehr unterschiedliche Betriebe befragt: Zum einen Mischbetriebe mit Milch-, Fleisch-, Eierproduktion, Acker-, Obst-, Gemüse- und Beerenanbau und zum anderen spezialisierte Betriebe mit nur Obst-, Gemüse- oder Beerenproduktion. Unter den 12 Betrieben sind 3 biologisch bewirtschaftet und ein Betrieb produziert Obst von Hochstamm-Bäumen. Die Betriebsgrösse variiert bei den 12 Betrieben zwischen 5 und 35 ha.

Es ist klar, dass mit 12 Interviews keine statistisch gesicherten Aussagen gemacht werden können. Vielmehr ging es bei der Wahl der Interviewpartner darum, ein möglichst breites Betriebs- und auch geographisches Spektrum abzudecken. Die Befragungen wurden anhand des Fragebogens von Anhang 1 mündlich durchgeführt. Im Folgenden sind die Antworten zusammengefasst.

3.1 Erfahrungen mit Trockenheit

Alle ausser einem Produzenten waren schon ein oder mehrere Male von einer Trockenheit betroffen. 2003 waren noch nicht alle Befragten in der Produktion von Obst-, Gemüse oder Beeren tätig. Die anderen Produzenten hatten das Jahr 2003 auch als trocken, aber als weniger trocken als 2015 in Erinnerung. Ein Landwirt gab das Jahr 1976 noch als Trockenjahr an.

Bei den meisten Produzenten war die Trockenheit abhängig von der Bodenart oder Lage der Fläche. Als weniger trockenresistente Flächen wurden erwartungsgemäss leichte und sandige Böden genannt und Flächen in Hanglage oder südexponierte Flächen.

3.2 Erfahrungen in der Bewässerung

Die am häufigsten ergriffene Massnahme gegen Trockenheit ist Bewässern. Einzig ein Produzent bewässert absichtlich nicht, damit seine Obstbäume tiefe Wurzeln entwickeln und somit trockenresistenter sind. Ein anderer Landwirt bewässerte seine Anlage erstmals 2015. Die restlichen Produzenten bewässern regelmässig.

Die Gründe für eine regelmässige Bewässerung sind unterschiedlich; weil die Kulturen entweder überdacht oder weil Kultur und/oder Fläche anfällig gegenüber Trockenheit sind. In der Umfrage handelt es sich bei den bewässerten Kulturen um junges Gemüse, Tafelobst (Äpfel und Birnen), Kirschen und Beeren. Andere Kulturen wie Mais, Kartoffeln oder Wiesland wurden bei den befragten Landwirten nie bewässert.

Viele Produzenten geben an, dass sie nur bei Bedarf bewässern, wenn es trocken ist. Andere sagen, dass sie jedes Jahr bewässern. Das Bewässerungsintervall wird meist nach Gefühl gewählt. Die Bewässerungsmenge und Bewässerungsbedürftigkeit der Kulturen wird meistens visuell, manuell mit Fühlprobe und mit der Erfahrung abgeschätzt. Ein Landwirt arbeitet mit den Tensiometerwerten aus der Bodenfeuchtemessstation des Klimaprojektes, ein anderer hat eigene Feuchtemessungen bei Erdbeeren installiert.

Die befragten Landwirte beziehen das Wasser etwa zu gleichen Teilen aus privaten Wasservorräten wie Quellen, Grundwasserbohrungen oder Regensammelbecken, wie auch von der öffentlichen Wasserversorgung. Ein Landwirt gibt an, mit Bachwasser zu bewässern.

Meist wird mit einer Tropfbewässerung oder anderen Mikrobewässerungen gearbeitet. Zum Teil verfügen die Produzenten zusätzlich noch über einen Sprinkler oder ein Wasserfass, welche bei extremer Trockenheit und bei den grossen Obstplantagen eingesetzt werden können.

Die meisten Produzenten geben an, 2015 mehr bewässert zu haben als in den anderen Jahren. Die Angaben belaufen sich von 20 % mehr bis zur dreifachen Wassermenge verglichen mit den Vorjahren.

Zwei Produzenten geben an, dass sie normalerweise Wasser aus eigener Quelle benutzen, 2015 aber auch zusätzlich Wasser aus der öffentlichen Wasserversorgung beziehen mussten.

3.3 Einschätzungen zum Klimawandel und seinen Auswirkungen in der Obst-, Gemüse- und Beerenproduktion in der Zentralschweiz

3.3.1 Auswirkungen und Massnahmen

Die meisten Befragten sind überzeugt, dass der Klimawandel Auswirkungen auf die Landwirtschaft in der Zentralschweiz hat und dass sich vor allem die Extremereignisse immer mehr zuspitzen werden.

Im Falle von weiteren Trockenperioden nennen die meisten Produzenten, dass sie mehr bewässern oder einen zusätzlichen Wasserspeicher anlegen würden. Die meisten Produzenten wussten nicht genau, ob sie noch weitere Massnahmen treffen würden, da sie nicht auf die Frage vorbereitet waren. Sie meinten, sie würden dann aber auf die Situation bezogen reagieren.

Die meisten befragten Produzenten haben schon eine Bewässerung eingerichtet. Zwei Produzenten haben keine Bewässerung installiert und sagen, dass sie bewässern würden, wenn die Ernte sehr stark zurückgehen würde.

3.3.2 Konfliktpotenzial mit anderen Wassernutzern

Die meisten Produzenten sehen bei ihrer Wasserversorgung selbst kein Konfliktpotenzial mit anderen Wassernutzern. Einzelne denken, das Konfliktpotenzial gegenüber der Gemeinde würde wahrscheinlich am grössten sein. Vereinzelt bestünde auch Konfliktpotenzial mit anderen Produzenten.

3.3.3 Weitere Bemerkungen der Produzenten zum Thema Wassernutzung in der Landwirtschaft

Die meisten der Befragten meinten, dass das Wasser ein hohes Gut sei und mit Sorgfalt damit umgegangen werden müsse. Andere meinen, dass im Allgemeinen dem Wasser, also auch dem Abwasser, eine höhere Bedeutung gegeben werden müsse, da das Abwasser auch wieder das Trinkwasser beeinflussen könne. Die Produzenten sind sich des hohen Wasserverbrauchs oft sehr bewusst und bewässern nur, wenn es notwendig ist. In anderen Bereichen wie auf Fussballplätzen oder in Hausgärten werde das Bewässern nach Einschätzung der Befragten auch manchmal übertrieben.

4 Bodenfeuchtemessnetz Zentralschweiz

Für das Bodenfeuchtemessnetz Zentralschweiz wurden verschiedenen Standorte für die Messstationen evaluiert. Ebenso wurde im Rahmen des Projektausschusses entschieden, lieber weniger, dafür hochwertige Messtechnik zu verwenden. Aufgrund des Projektbudgets konnten drei Bodenmessstationen realisiert werden. Die Aussagen von Experten sowie folgende Kriterien (siehe auch Grundlagen in Kapitel 2) wurden bei der Standortwahl der Messstellen berücksichtigt: Bewässerungsbedarf, Niederschlag, landwirtschaftliche Nutzung (trockenkritische Kulturpflanzen), repräsentativ für die Zentralschweiz und relevant für die Fragestellung. Ebenfalls musste ein guter Standort innerhalb eines Betriebes gewählt werden können und das Einverständnis der Landwirte musste da sein.

4.1 Bestehende Bodenmessungen und Bodenmesssysteme

In den meisten Kantonen der Schweiz wurden Bodenmessstationen gebaut, um die Bodenfeuchte im Hinblick auf Verhinderung von Bodenverdichtungen zu messen. Die Bodenfeuchte ist von entscheidender Bedeutung für eine schonende und nachhaltige land- und forstwirtschaftliche Nutzung unserer Böden und bei baubedingten Erdarbeiten. Das Bodenmessnetz bietet Informationen zum aktuellen Bodenzustand und Entscheidungshilfen für einen bodenschonenden Arbeitseinsatz. In der Zentralschweiz verfügen die Kantone Luzern, Zug, Uri und ab 2016 auch Schwyz über eigene Bodenfeuchtemessstationen. Diese Messstationen liefern ebenfalls Informationen über den Trockenheitszustand der Böden. Diese Messstationen befinden sich auf Wiesland und sind nicht speziell auf trockenempfindliche Böden ausgerichtet.⁵³ Daher sind sie für bewässerungstechnische Fragestellungen wenig relevant.

4.2 Standortwahl Projektbodenmessstationen

Die Zentralschweiz ist vorwiegend auf Milch- und Viehwirtschaft ausgerichtet. Der Kanton Luzern ist von den Zentralschweizer Kantonen am stärksten landwirtschaftlich geprägt (siehe Kapitel 2.5). Es befinden sich einige grosse Obstanbaugebiete im Kanton Luzern mit trockenkritischen Kulturen wie Birnen, Kirschen, Erdbeeren und Himbeeren. Wichtige Kirschanbaugebiete in der Zentralschweiz sind ausserdem Gebiete in den Kantonen Zug und Schwyz.

Anhand der vorherigen Kriterien sind insbesondere Teile der Kantone Luzern, Zug und Schwyz (Ausserschwyz) trockenkritisch relevant für die Installation der Bodenfeuchtemessstellen (Kapitel 2.4).

⁵³ <http://www.bodenmessnetz.ch>
<http://www.bodenfeuchte-ostschweiz.ch>
http://www.aln.zh.ch/internet/audirektion/aln/de/fabo/bodenzustand/messnetz_bodenfeuchte.html
<http://www.boden-uri.ch>
http://www.vol.be.ch/vol/de/index/landwirtschaft/landwirtschaft/bodenschutz/bodenzustand/messwerte_bodenfeuchte.html
<https://uwe.lu.ch/themen/bodenschutz/bodenfeuchte>
<http://www.oasi.ti.ch/web/dati/suolo.html>

4.3 Übersicht Messstationen

Es wurden drei Messstationen mit den oben genannten Kriterien erstellt (Abbildung 10 und Abbildung 11).

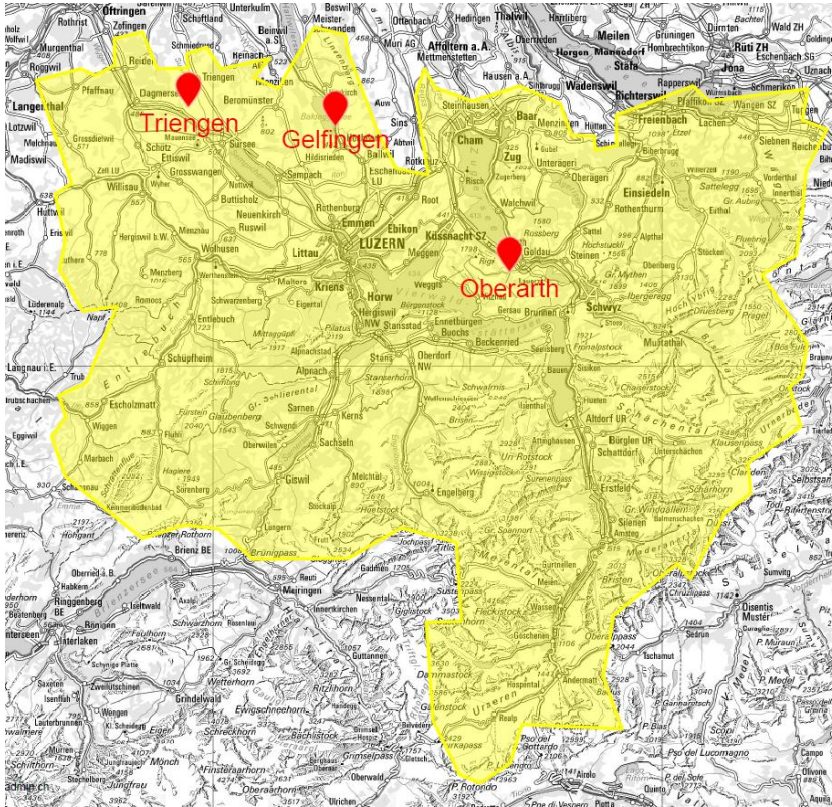


Abbildung 10: Karte der Zentralschweiz mit der Lokalisation der drei innerhalb des Projektes realisierten Bodenmessstationen



Abbildung 11: Aufnahmen der drei Standorte: Apfelplantage in Gelfingen (links), Kirschenplantage in Triengen (Mitte) und Heidelbeerplantage in Oberarth (rechts).

4.4 Bodenfeuchtemessstation Gelfingen

In Gelfingen LU wurde am 26.11.2014 eine Bodenfeuchtemessstation errichtet. Der Standort für die Bodenmessstation liegt in einer Apfelplantage. Die Plantage wird im Gegensatz zur Nachbarsparzelle nicht bewässert. Der Ertrag liegt gemäss Aussagen des Produzenten im gleichen Rahmen. Auf der Nachbarsparzelle befindet sich die Klimastation Gelfingen der Agrometeo, bei der Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Niederschlag und Globalstrahlung gemessen werden (Tabelle 5).

Bei den Äpfeln handelt es sich um die Sorte Diwa. Die Bäume sind im 6. Standjahr und geben den vollen Ertrag.

Beim Boden handelt es sich um eine steinhaltige bis steinreiche, lehmige bis sandig lehmige, normal durchlässige, ziemlich flachgründige, gleichmässig geneigte Kalkbraunerde. Die Bodenschichten haben sich aus dem Moränenmaterial gebildet, welches sehr steinreich ist.

Lehmige Böden sind sehr fruchtbar. Durch den Tongehalt kann gut Wasser gespeichert werden.

Das in den Mittelporen enthaltene Wasser ist pflanzenverfügbar. In unserem Fall ist das etwa 17 % des Gesamtvolumens im Boden. Bei einer Bodentiefe von 44 cm bedeutet das, dass der Boden maximal 80 mm pflanzenverfügbares Wasser speichern kann.

Die Evapotranspiration von einem Obstgarten ist von verschiedenen Faktoren abhängig, so von der Sonneneinstrahlung, der Bodenbedeckung, dem Fortschritt der Blüte. In unserem Fall kann man von einer Evapotranspiration zwischen 2 und 8 mm pro Tag ausgehen. Das heisst, dass ein voll aufgefülltes Porensystem im Sommer für mindestens 10 Tage lang reicht.

Durch die geringe pflanzennutzbare Gründigkeit des Bodens von 44 cm kann der Boden in Trockenperioden eventuell nicht genügend Wasser speichern. Da der Boden sehr inhomogen ist, kann das Trockenheitsrisiko innerhalb der Plantage variieren. Gemäss Aussagen des Obstproduzenten führt der konsequente Verzicht auf Bewässerung dazu, dass die Bäume tiefer wurzeln und so das Wasser auch aus tieferen Schichten verwenden können.

Tabelle 5: Angaben zu der Bodenmessstation in Gelfingen

Station	Gelfingen (Gemeinde Hitzkirch LU)
Eigentümer	Hans Fischer
Höhe	500 m ü. M.
Koordinaten	2'663'483 / 1'228'518
Kultur	Äpfel (Sorte Diwa)
Bewässerung	Nein
Boden	steinhaltige bis steinreiche, lehmige bis sandig lehmige, normal durchlässige, ziemlich flachgründige, gleichmässig geneigte Kalkbraunerde, neutraler pH-Wert 7
Geologie	Mörane

Grundwasser	Kein Grundwasser
Klimaeignungszone	A4, Futterbau mit hohen Erträgen begünstigt
Meteo	Klimastation der Agrometeo in Gelfingen
Niederschlag	1103 mm (Jahresdurchschnitt)
Temperatur	9.6°C (Jahresdurchschnitt)

In Anhang 2 befindet sich die vollständige Standortdokumentation Gelfingen.

4.5 Bodenfeuchtemessstation Triengen

In Wilihof, Gemeinde Triengen LU, wurde am 11.05.2015 eine Bodenfeuchtemessstation errichtet.

Der Standort für die Bodenmessstation liegt in einer Kirschbaumplantage in Willihof (LU). Die Plantage wird mit einer Tropfbewässerung bewässert. Das Wasser wird von der eigenen Grundwasserpumpe (in 5 m Tiefe) gefördert. Die Bewässerung ist manuell gesteuert. Sobald die Früchte reifen, werden die Kirschbäume abgedeckt, um sie vor Schäden durch den Niederschlag zu schützen. Die nächste Agrometeo-Station liegt in Oberkirch. Um genaue Meteodaten vor Ort zu haben, wurde im Rahmen der Installation der Bodenfeuchtemessstation zusätzlich eine Meteostation eingebaut (Tabelle 6).

Bei den Kirschbäumen handelt es sich um die Sorte Kordia. Die Bäume sind im 4. Standjahr und liefern noch nicht den vollen Ertrag.

Beim Boden handelt es sich um einen stark gleyigen, skelettarmen bis schwach skeletthaltigen, sandig lehmigen, grund- oder hangwassergeprägten, selten bis zur Oberfläche porengesättigten, ziemlich flachgründigen, gleichmässig geneigten Braunerde-Gley. Die Bodenschichten haben sich aus dem Moränenmaterial gebildet. Der Boden liegt in einem Gebiet mit Grundwasser.

Bei der Bodenart handelt es sich aufgrund des hohen Sandgehaltes um einen sandigen Lehm. Sandige Lehme sind sehr fruchtbare Böden. Der Tongehalt hilft der Wasserspeicherung, während der Sandgehalt die Durchlässigkeit erhöht.

Das in den Mittelporen enthaltene Wasser ist pflanzenverfügbar. In unserem Fall ist das etwa 19 % des Gesamtvolumens im Boden. Bei einer Bodentiefe von 41 cm bedeutet das, dass der Boden maximal 80 mm pflanzenverfügbares Wasser speichern kann.

Die Evapotranspiration von einem Obstgarten ist von verschiedenen Faktoren abhängig, so von der Sonneneinstrahlung, der Bodenbedeckung, dem Fortschritt der Blüte. In unserem Fall kann man von einer Evapotranspiration zwischen 2 und 8 mm pro Tag ausgehen. Das heisst, dass ein voll aufgefülltes Porensystem im Sommer für mindestens 10 Tage lang reicht. Gley-Böden können aber in Trockenjahren wegen dem zusätzlich verfügbaren Wasser sehr fruchtbar sein.

Tabelle 6: Angaben zu der Bodenmessstation in Triengen

Station	Wilihof (Gemeinde Triengen LU)
Eigentümer	Peter Kaufmann
Höhe	521 m ü. M.
Koordinaten	2'647'130 / 1'230'614
Kultur	Kirschen (Sorte Kordia) im 4. Standjahr
Bewässerung	Ja
Boden	stark gleyiger, skelettarmer bis schwach skeletthaltiger, sandig lehmi- ger, grund- oder hangwassergeprägter, selten bis zur Oberfläche poren- gesättigter, ziemlich flachgründiger, gleichmässig geneigter Braunerde- Gley, neutraler pH-Wert 6.7
Geologie	Moräne
Grundwasser	Gewässerschutzbereich Au, 50 m von Grundwasserschutzareal Chlifeld/Riedmatt entfernt
Klimaeignungszone	B4, Futterbau
Meteo	Eigene Meteostation bei der Bodenmessstation
Niederschlag	1211 mm (Jahresdurchschnitt)
Temperatur	10.0°C (Jahresdurchschnitt)

In Anhang 3 befindet sich die vollständige Standortdokumentation Triengen.

4.6 Bodenfeuchtemessstation Oberarth

In Oberarth SZ wurde am 09.07.2015 eine Bodenfeuchtemessstation errichtet. Der Standort für die Bodenmessstation liegt in einer Heidelbeerkultur in Oberarth (SZ). Die Parzelle wird nicht bewässert. Auf der Nachbarsparzelle wird Gemüse produziert und regelmässig bewässert (Tabelle 7).

Heidelbeeren stellen sehr hohe Ansprüche an die Bodeneigenschaften. Die Heidelbeeren verlangen sehr gut durchlässige, saure Böden mit einem pH-Wert zwischen 4 und 5. Traditionell werden Heidelbeeren zum Teil in sogenannten Moorbeeten angebaut. In Oberarth werden die Heidelbeeren auf Dämmen, die im Reihensbereich mit natürlichen Holzabfallprodukten angelegt werden, gepflanzt. Dadurch kann der pH-Wert des Bodens gesenkt werden.⁵⁴

Beim Boden handelt es sich um eine sehr stark saure, anthropogen beeinflusste, skelettfreie bis schwach skeletthaltige, lehmige, senkrecht durchwaschene, normal durchlässige, ziemlich flachgründige, ebene Braunerde. Die Bodenschichten haben sich aus dem Schwemmmaterial des Bachschuttkegels gebildet. Der pH-Wert ist künstlich abgesenkt.

Lehmige Böden sind sehr fruchtbar. Durch den Tongehalt kann gut Wasser gespeichert werden.

Das in den Mittelporen enthaltene Wasser ist pflanzenverfügbar. In unserem Fall ist das etwa 16 % des Gesamtvolumens im Boden. Bei einer Bodentiefe von 44 cm bedeutet das, dass der Boden maximal 70 mm pflanzenverfügbares Wasser speichern kann.

Die Evapotranspiration von Beerensträuchern ist von verschiedenen Faktoren abhängig, so von der Sonneneinstrahlung, der Bodenbedeckung, dem Fortschritt der Blüte. In unserem Fall kann man von einer Evapotranspiration zwischen 2 und 8 mm pro Tag ausgehen. Das heisst, dass ein voll aufgefülltes Porensystem im Sommer für mindestens 9 Tage lang reicht.

Durch die geringe pflanzennutzbare Gründigkeit des Bodens von 44 cm kann der Boden in Trockenperioden eventuell nicht genügend Wasser speichern. In unserem Fall ist der Grundwasserspiegel jedoch relativ hoch, dadurch wird die Gefahr der Austrocknung etwas gemindert. Zudem ist es eine Region mit viel Niederschlag und einer eher kleinen Verdunstungsrate (Kapitel 2.3.2).

⁵⁴ Die Kulturheidelbeere, eine junge Beerenart auf Erfolgskurs, SCHWEIZ. Z. OBST-WEINBAU Nr. 15/02

Tabelle 7: Angaben zu der Bodenmessstation in Oberarth

Station	Oberarth (Gemeinde Arth SZ)
Eigentümer	Michael Reichmuth
Höhe	435 m ü. M.
Koordinaten	2'682'865 / 1'212'316
Kultur	Heidelbeeren
Bewässerung	Nein (nur bei den ganz jungen Pflanzen)
Boden	Braunerde (pH künstlich gesenkt)
Geologie	Bachschuttkegel, Quartär, Holozän
Grundwasser	Grundwasserschutzareal, Grundwasserschutzzone S3
Klimaeignungszone	A5, Dauergrünland bevorzugt oder begünstigt
Meteo	Klimastation der Agrometeo in Arth
Niederschlag	1'650 mm (Jahresdurchschnitt)
Temperatur	10°C (Jahresdurchschnitt)

In Anhang 4 befindet sich die vollständige Standortdokumentation Oberarth.

4.7 Bodenuntersuchungen

Für die Installation der Bodenfeuchtemesssonden wurde jeweils ein Graben mit 1 m Breite und 75 cm Tiefe ausgehoben. Vor Installation der Messsonden wurde das Bodenprofil bodenkundlich aufgenommen und die Proben für die Labor-Analysen entnommen.

In drei Bodenhorizonten wurden für die Körnungs-Analyse gestörte Proben genommen. In ebenfalls drei Bodenhorizonten wurden ungestörte Proben für die Bestimmung des Porenvolumens, der Porengrössenverteilung und der Lagerungsdichte entnommen. Die Bodenproben wurden durch das Labor AgroLab Swiss GmbH in Root analysiert.

4.8 Ausstattung der Messstationen

Die Messstationen sind mit Tensiometern (UMS-T8) und Bodenfeuchtesensoren (TRIME-TDR-Pico64) ausgerüstet. Es wird in den drei Messtiefen 20 cm, 35 cm und 60 cm gemessen. Zur Sicherstellung der Messwerte sind pro Tiefe immer zwei Tensiometer und zwei Bodenfeuchtesensoren installiert.

Die Messstationen müssen 3-4 pro Jahr gewartet werden. Zur Vermeidung von Frostschäden werden die Tensiometer über den Winter aus dem Boden ausgebaut.

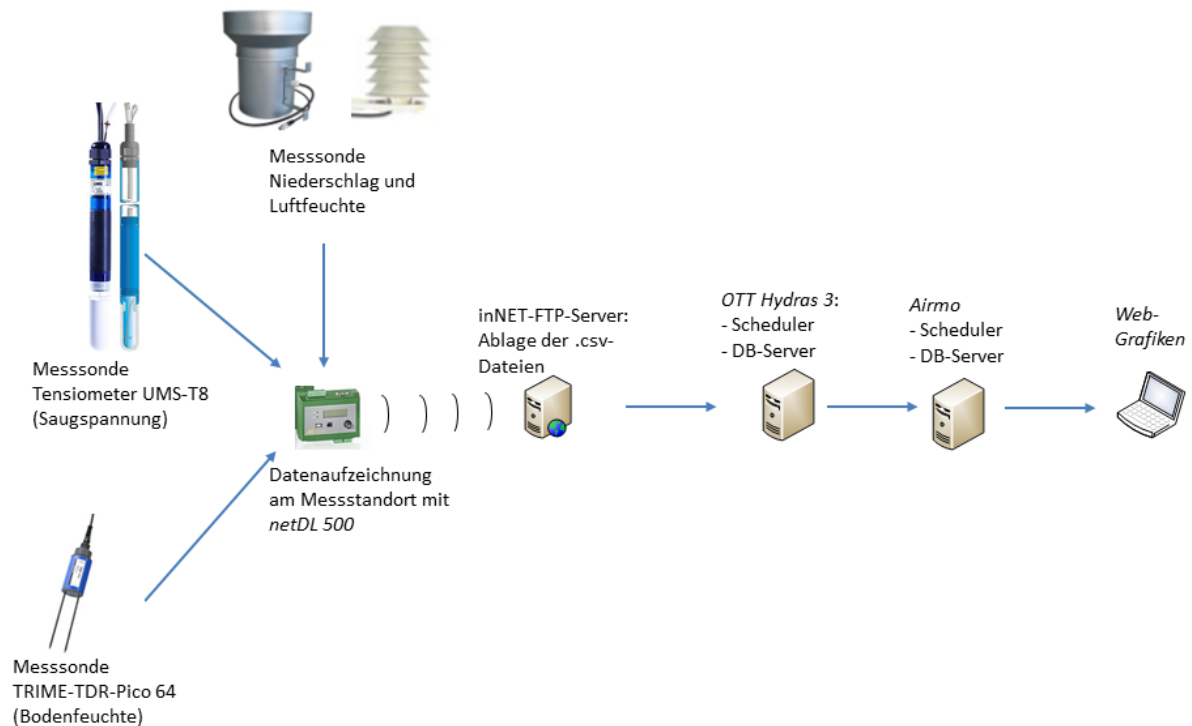


Abbildung 12: Schematische Darstellung Messeinrichtungen und Datenkommunikation

Die Messdaten werden via Datenlogger über das mobile Netz auf einen ftp-Server übertragen. Von dort werden die Daten in die Datenbank importiert (Abbildung 12). In der Datenbank werden Unterhaltsgraphiken zur täglichen Datenkontrolle generiert. Die Daten wurden nachträglich in der Datenbank manuell validiert.

4.8.1 Tensiometer

Die Saugspannung des Bodens kann mithilfe von Tensiometern (Abbildung 14, links) gemessen werden. Die wassergefüllte, wasserdurchlässige Keramikkerze wird in den Boden eingebaut. Es entsteht ein Kontakt zwischen Bodenwasser und dem Wasser in der Kerze. Der Druck des Bodenwassers wird dabei ermittelt und wird via Datenlogger ausgelesen.⁵⁵ Die Tensiometer haben den Nachteil, dass sie bei geringer Trockenheit austrocknen und keine plausiblen Messwerte mehr liefern.

4.8.2 TDR-Sensor

Der TDR-Sensor (Time Domain Reflectometry) misst den Bodenwassergehalt. Der Sensor besteht aus zwei parallelen Stäben (Abbildung 14, rechts), welche geladen sind. Es wird ein Spannungspuls auf die Stäbe übermittelt. Zwischen den Stäben und in einem bestimmten Bereich darum herum im Boden wird ein elektromagnetisches Feld erzeugt. Die Geschwindigkeit, mit der das Feld erzeugt und der Puls im Boden weitergeleitet wird, hängt von der Bodenfeuchte ab. Die Reflexion des Pulses am Ende der Stäbe wird gemessen. Die Bodenfeuchte kann anschliessend mit der Zeit, welche der Puls

⁵⁵ ETH Zürich (2012): Die Experimente. <http://www.soil-physics.ch/inhalt/index.php?seite=3100> (Zugriff: 23.06.14).

auf den Stäben benötigte und den dielektrischen (nichtleitenden) Eigenschaften des trockenen Bodens und des Wassers berechnet werden. Der Puls wird mit zunehmendem Wassergehalt langsamer.⁵⁶ TDR-Sensoren liefern auch bei sehr trockenem Boden plausible Messwerte.



Abbildung 13: UMS-Tensiometer T8 (links) und TDR-Trime Sensoren (rechts)

4.9 Datenhaltung

Die Messdaten werden in der Airmo-Datenbank gespeichert. Mit der Airmo wurden die Daten validiert und es können Umrechnungen und Aggregationen vorgenommen werden. In Tabelle 8 ist die Datenstruktur der Boden- und Meteodaten dargestellt. Die Spalte «zeitliche Auflösung» steht für die höchste verfügbare zeitliche Auflösung des entsprechenden Parameters.

⁵⁶ ETH Zürich (2012): Die Experimente. <http://www.soil-physics.ch/inhalt/index.php?seite=3100> (Zugriff: 23.06.14).

Tabelle 8: Datenbankstruktur der Messstationen Gelfingen, Triengen und Oberarth.

Sensor	Parameter	Bezeichnung	Kleinste zeitl. Auflösung	Einheit
Tensiometer	Saugspannung	Saug_20cm_B1	h1	cbar
		Saug_20cm_B2	h1	cbar
		Saug_35cm_B1	h1	cbar
		Saug_35cm_B2	h1	cbar
		Saug_60cm_B1	h1	cbar
		Saug_60cm_B2	h1	cbar
	Bodentemperatur	Temp_20cm_B1	h1	°C
		Temp_20cm_B2	h1	°C
		Temp_35cm_B1	h1	°C
		Temp_35cm_B2	h1	°C
		Temp_60cm_B1	h1	°C
		Temp_60cm_B2	h1	°C
Trime	Vol. Bodenfeuchte	Humid_20cm_B1	h1	%
		Humid_20cm_B2	h1	%
		Humid_35cm_B1	h1	%
		Humid_35cm_B2	h1	%
		Humid_60cm_B1	h1	%
		Humid_60cm_B2	h1	%
	Leitfähigkeit	Lf_20cm_B1	h1	mS m ⁻¹
		Lf_20cm_B2	h1	mS m ⁻¹
		Lf_35cm_B1	h1	mS m ⁻¹
		Lf_35cm_B2	h1	mS m ⁻¹
		Lf_60cm_B1	h1	mS m ⁻¹
		Lf_60cm_B2	h1	mS m ⁻¹
	Bodentemperatur ⁵⁷	TempT_20cm_B1	h1	°C
		TempT_20cm_B2	h1	°C
		TempT_35cm_B1	h1	°C
		TempT_35cm_B2	h1	°C
		TempT_60cm_B1	h1	°C
		TempT_60cm_B2	h1	°C
Meteo ⁵⁸	Luftdruck	p	min10	hPa
	Niederschlag	RainQuant	h1, d1 (Summe)	mm h ⁻¹ , mm
	rel. Luftfeuchte ⁵⁹	Rel_Humid_4m	min10	%
	Lufttemperatur	Temp_4m	min10	°C
	Windrichtung	WD_4m	min10	°
	Windgeschwindigkeit	WV_hs_4m	min10	m s ⁻¹

⁵⁷ nur für Oberarth und Gelfingen⁵⁸ nur für Triengen⁵⁹ 4m bedeutet auf 4 Meter über Grund gemessen.

5 Messresultate

In den folgenden Unterkapiteln werden die Messdaten der drei Messstationen der Projektphase analysiert und interpretiert.

5.1 Desorptionskurve (Beziehung Saugspannung zum Bodenwassergehalt)

Die Desorptionskurve zeigt die Beziehung zwischen Saugspannung und Bodenfeuchte auf. Mithilfe der Desorptionskurve kann der Bodenwassergehalt in die Saugspannung umgerechnet werden. Im Feld wird beides gemessen, ausschlaggebend für die Bewässerung ist aber die Saugspannung. Für die Modellierung wird der Bodenwassergehalt verwendet.

Die Desorptionskurve wurde mit den im Feld entnommenen Bodenproben im Labor bestimmt. Ebenfalls wurden nachträglich Desorptionskurven mit den gemessenen Bodendaten bestimmt. Die Desorptionskurve wurde im Labor für die drei Messtiefen 20 cm, 35 cm und 60 cm bestimmt.

Die Graphiken der Desorptionskurven beziehen sich auf die Messtiefe in 35 cm. Die im Feld gemessenen Werte liegen meistens unterhalb der im Labor bestimmten Desorptionskurve (Abbildung 14, Abbildung 15 und Abbildung 16).

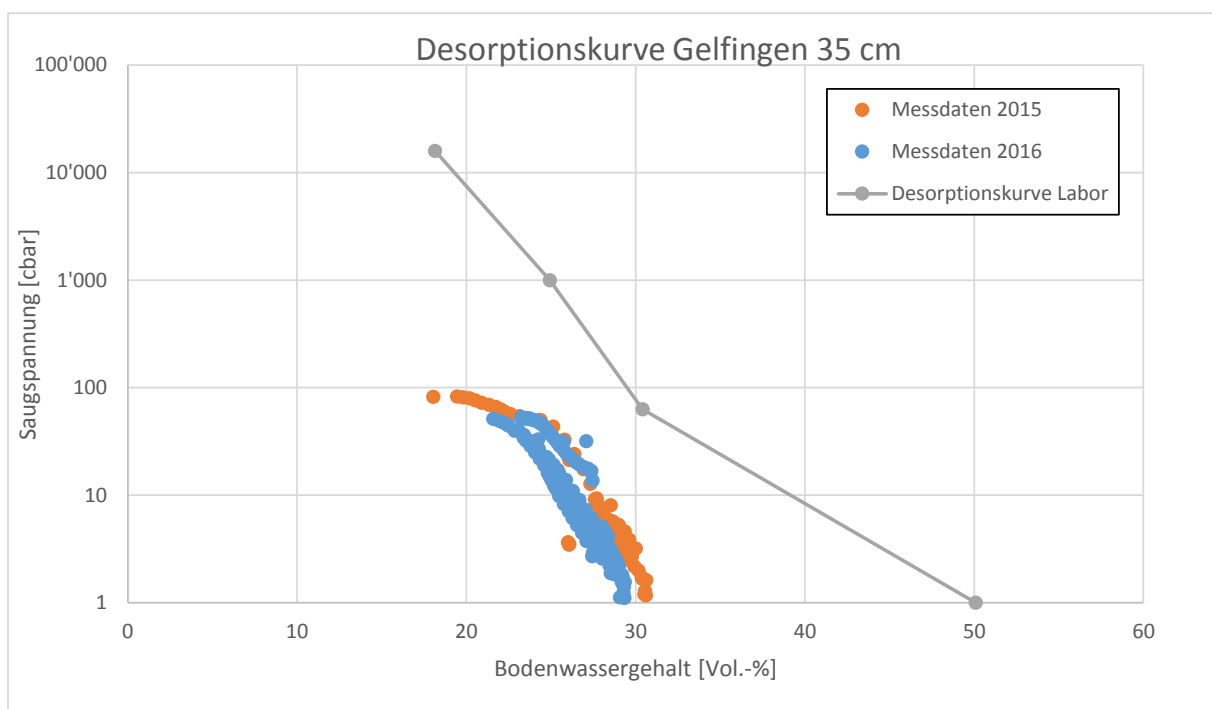


Abbildung 14: Desorptionskurve Gelfingen mit den im Labor und im Feld bestimmten Messwerten

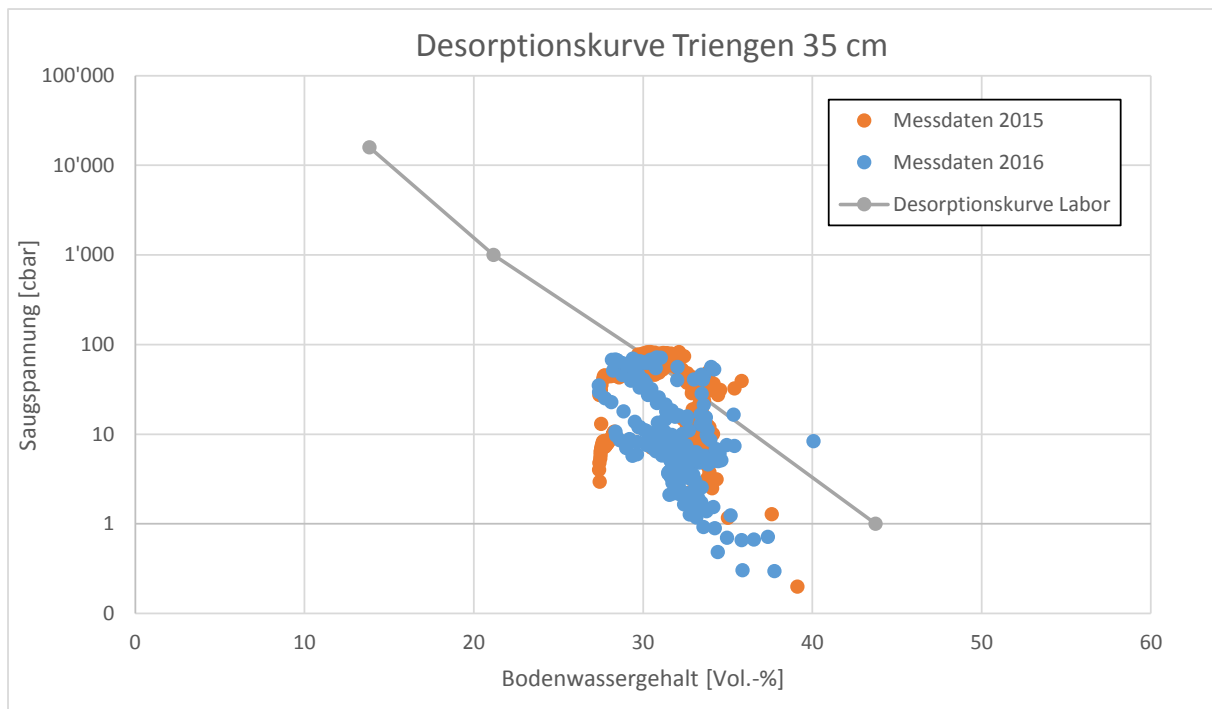


Abbildung 15: Desorptionskurve Triengen mit den im Labor und im Feld bestimmten Messwerten

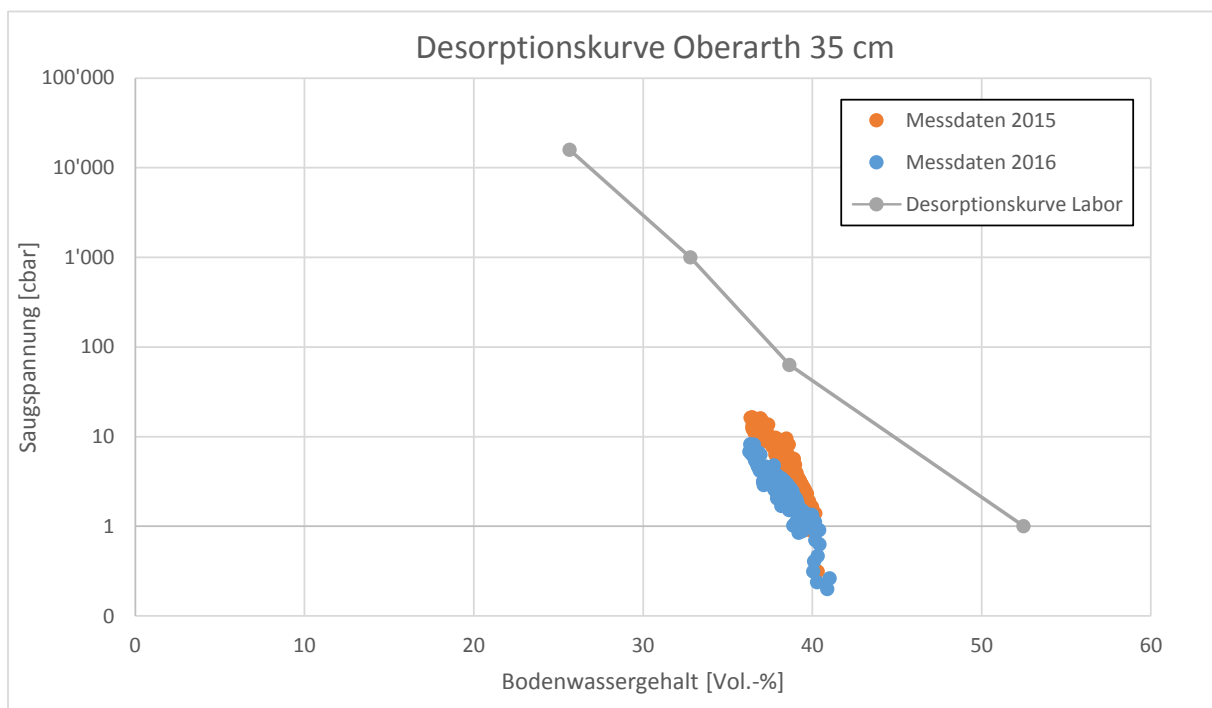


Abbildung 16: Desorptionskurve Oberarth mit den im Labor und im Feld bestimmten Messwert

Die Unterschiede zwischen der Desorptionskurve und den Messwerten sind vor allem in Gelfingen und in Oberarth massiv. Gründe dafür sind die unterschiedlichen Befeuchtungsprozesse in Feld und Labor. Gemäss Flühler und Roth ist es nicht möglich mit Feldmessungen und im Labor bestimmter

Desorptionskurve auf Wassergehalte zu schliessen.⁶⁰ Ein weiterer Grund ist der Skelettanteil. Der hohe Skelettanteil in Gelfingen ist mit ca. 40 % in der Messtiefe von 35 cm erheblich und wurde bei den Labormessungen nur teilweise berücksichtigt, da durch den hohen Skelettgehalt die Probenahmen erschwert sind. In Oberarth befinden sich die Messwerte in einem sehr feuchten Bereich, welcher auch „dynamischer“ Feuchtebereich genannt wird. In diesem Bereich kann sich die Geschwindigkeit des Wassertransports schnell ändern und dadurch reagiert der Boden bei Laborbedingungen anders als im Feld.⁶⁰

Andere Gründe liegen eventuell bei den verwendeten Sensoren. Die Messabweichungen der Trime-Sonden aber auch der Tensiometer ist in sehr skeletthaltigen Böden noch wenig erforscht.

Bei der Modellierung der Bodenfeuchte (Kapitel 6) wurde modellbedingt nur mit dem Bodenwassergehalt gearbeitet. Die hier betrachteten Desorptionskurven zeigen aber auf, dass bei einer Umrechnung vom Bodenwassergehalt in die Saugspannung erhebliche Unsicherheiten entstehen.

Für die Desorptionskurve von Triengen wurden mögliche Hysterese-Effekte in den Messwerten untersucht (Abbildung 17). Zwischen der Austrocknung (Desorption) eines mit Wasser gesättigten Bodens und der Befeuchtung (Sorption) eines trockenen Bodens gibt es Unterschiede im Verlauf der pF-Kurve, die eine typische Hysterese kennzeichnen. Es gibt dafür verschiedene Ursachen. Eine davon ist, dass bei der Desorption erst die grossen Poren, dann die kleinen entwässert werden. Bei der Sorption füllen sich zuerst die feinen Poren durch die Kapillarkräfte.

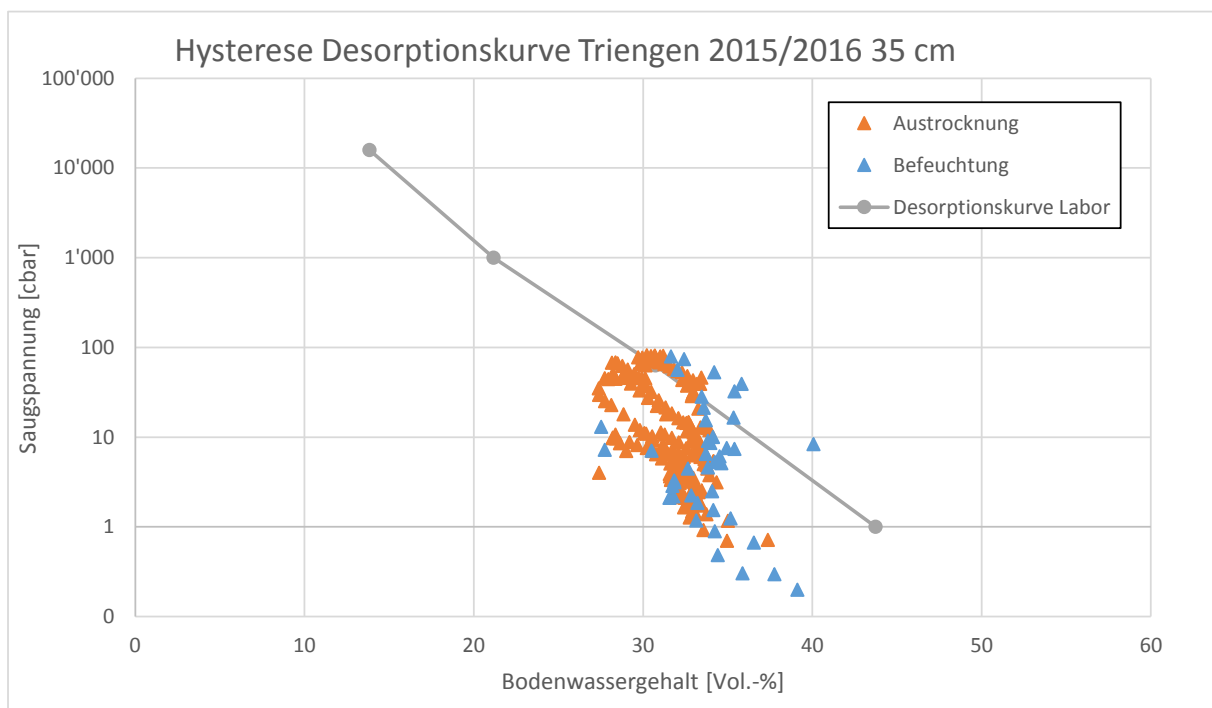


Abbildung 17: Desorptionskurve Triengen 2015/2016 Einfluss der Hysterese

⁶⁰ Flühler, H. und Roth, K., Physik der ungesättigten Zone Wintersemester 2004/05, http://www.soil.tu-bs.de/lehre/Bachelor-WaBoLu/Literatur/Fluehler_Kap5_Wasserretention.pdf

Für Abbildung 17 wurden die Messwerte in 2 Kategorien eingeteilt. Die Messwerte welche bei steigender Saugspannung und sinkendem Bodenwassergehalt gemessen wurden, wurden als „Austrocknungswerte“ markiert (orange Dreiecke), die Messwerte bei sinkender Saugspannung und steigendem Bodenwassergehalt als „Befeuchtung“ (blaue Dreiecke). Die Effekte von Befeuchtung und Austrocknung (Hysterese) in den Messwerten ist jedoch nicht klar ersichtlich. Für die Befeuchtung gibt es weniger Messwerte als für die Austrocknung, da die Reaktion der Messsonden auf ein Regenereignis meist unmittelbar ist und nur auf die Dauer des Regenereignisses beschränkt. Der Prozess des Abtrocknens läuft jedoch kontinuierlich.

5.2 Trockenheitsverteilung

In Abbildung 18 ist die Häufigkeitsverteilung bestimmter Saugspannungsbereiche (feucht, optimal und trocken) für die drei Standorte (Spalten) und die verschiedenen Zeitperioden (Zeilen) dargestellt. In dieser Darstellung sieht man beispielsweise, dass im Hitzesommer 2015 während 45 % der Zeit der Boden in Triengen für Kirschen zu trocken war, obwohl dort eine Bewässerungsanlage installiert ist. Während des feuchten Sommers 2016 war der Boden nur während 15 % der Zeit zu trocken. Auch war der Boden der Apfelplantage in Gelfingen während 62 % der Zeit im Sommer 2015 zu trocken. In der Heidelbeerplantage in Oberarth war hingegen Trockenheit auch im Sommer 2015 kein Problem.

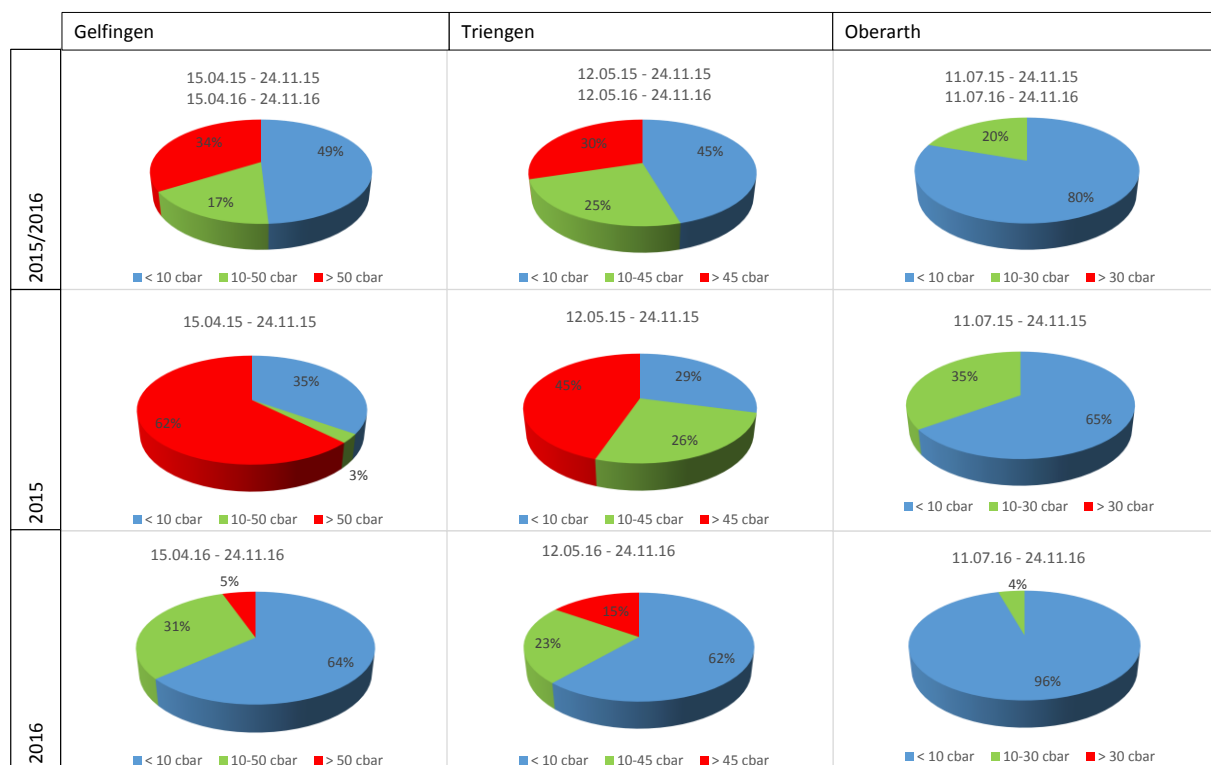


Abbildung 18: Saugspannungswerte 2015 und 2016: blau: feucht, grün: optimal, rot: trocken, bewässerungsbedürftig. Die Messdaten stammen von der für die jeweilige Kultur optimalen Messtiefe (Äpfel 35 cm, Kirschen 35 cm, Heidelbeeren 20 cm). Aufgrund der unterschiedlichen Messbeginne unterscheiden sich die Zeitperioden der verschiedenen Kulturen. Sie wurden aber für die verschiedenen Jahre jeweils identisch gewählt.

5.2.1 Zeitreihen der Messdaten in Gelfingen

In Gelfingen waren in den Sommermonaten die Saugspannungswerte 2015 deutlich höher als 2016 (Abbildung 19 und Abbildung 20) und die Wassergehalte tiefer. Die Trockenperiode 2015 begann Anfangs Juli und dauerte bis Mitte November. Die Tensiometer haben einen Messbereich bis etwa 85 cbar. Über diesem Wert trocknen die Tensiometer aus. 2015 trockneten alle Tensiometer in Gelfingen im Juli aus. Erst Mitte November wurde der Boden wieder genügend feucht, so dass die Tensiometer nach der Befüllung wieder gültige Messdaten messen konnten. Die Trime-Sonden lieferten hingegen über die ganze Zeitspanne plausible Messwerte.

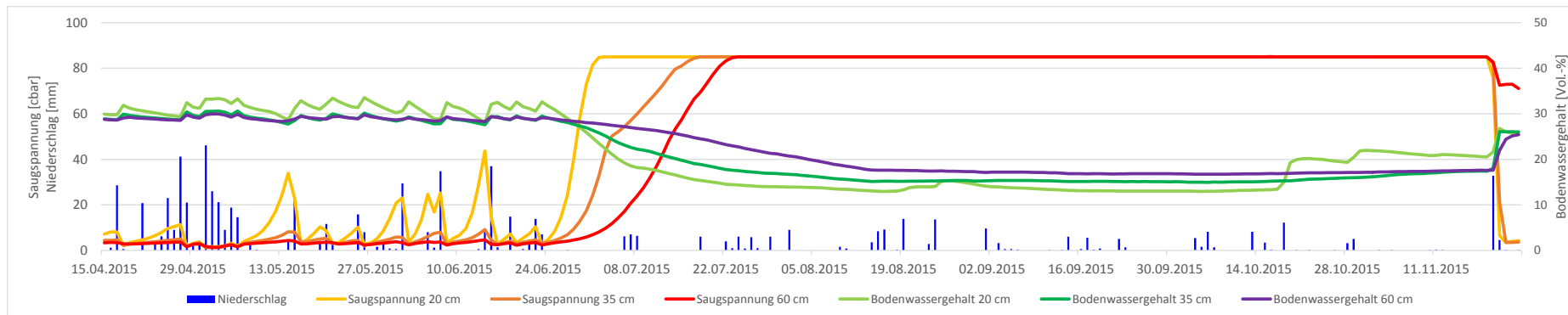


Abbildung 19: Tagesmittel-Zeitreihe Saugspannung und Niederschlag (linke y-Achse) und Bodenwassergehalt (rechte y-Achse) in Gelfingen 2015 (15.04. - 24.11.2015)

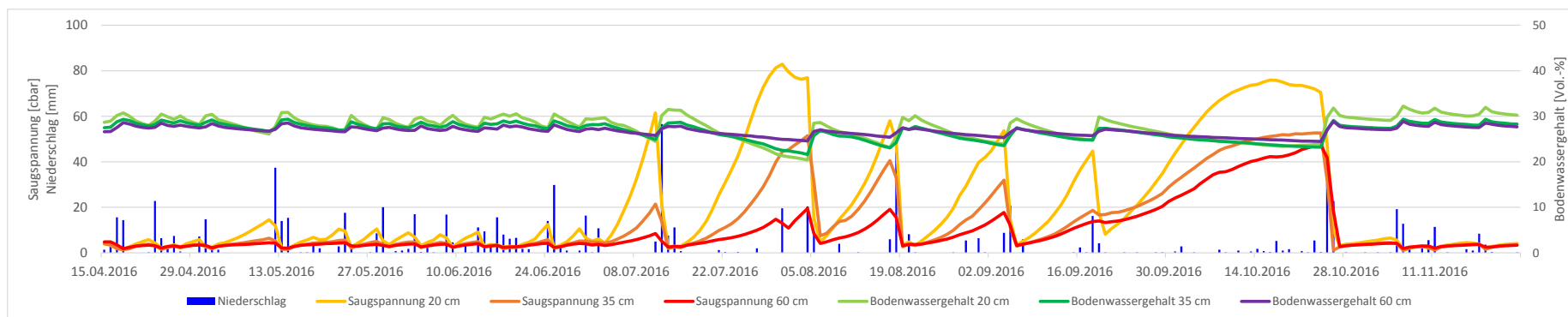


Abbildung 20: Tagesmittel-Zeitreihe Saugspannung und Niederschlag (linke y-Achse) und Bodenwassergehalt (rechte y-Achse) in Gelfingen 2016 (15.04. - 24.11.2016)

Für die Beurteilung der Apfelplantage in Gelfingen bezüglich Bewässerungsbedürftigkeit wurden die Tensiometermessungen (Saugspannung) in 35 cm Tiefe genommen. Gemäss Tabelle 3 ist der optimale Bodenfeuchtebereich für Äpfel zwischen 10 und 50 cbar. 2015 wurden in der Messperiode vom 15.04. - 24.11.2015 bei 62 % der Messungen (Tagesmittel) die Bewässerungsgrenze überschritten (Abbildung 18). In Tagen ausgedrückt wurde 2015 an 140 Tagen die Bewässerungsgrenze von 50 cbar überschritten, 2016 hingegen nur an 12 Tagen (Tabelle 9). Laut Angaben des Produzenten litt die Apfelplantage jedoch nicht so sehr unter der Trockenheit. Da er generell nicht bewässert, meint er, reichten die Wurzeln seiner Apfelbäume tiefer als bei bewässerten Bäumen. In einer Tiefe von 60 cm wurde dann die Bewässerungsgrenze von 50 cbar im Jahr 2015 an 60 % der Tagen überschritten und ist somit praktisch identisch wie in einer Tiefe von 35 cm.

Tabelle 9: Beurteilung der Bodenmessungen in Gelfingen (Vergleichsperioden 15.04. - 24.11.15 und 15.04. - 24.11.16)

Anzahl Tage	2015	2016	2015 und 2016	Beurteilung
< 10 cbar	78	142	220	nass
10-50 cbar	6	70	76	optimal
> 50 cbar	140	12	152	zu trocken, bewässerungsbedürftig

5.2.2 Die Auswertung der Messdaten in Triengen

In Triengen waren in den Sommermonaten die Saugspannungswerte 2015 deutlich höher als 2016 (Abbildung 21 und Abbildung 22) und die Wassergehalte tiefer. Die Trockenperiode 2015 begann Anfangs Juli und dauerte bis etwa Mitte September. In Triengen waren die Tensiometer zwischen Juli und September 2015 ausgetrocknet.

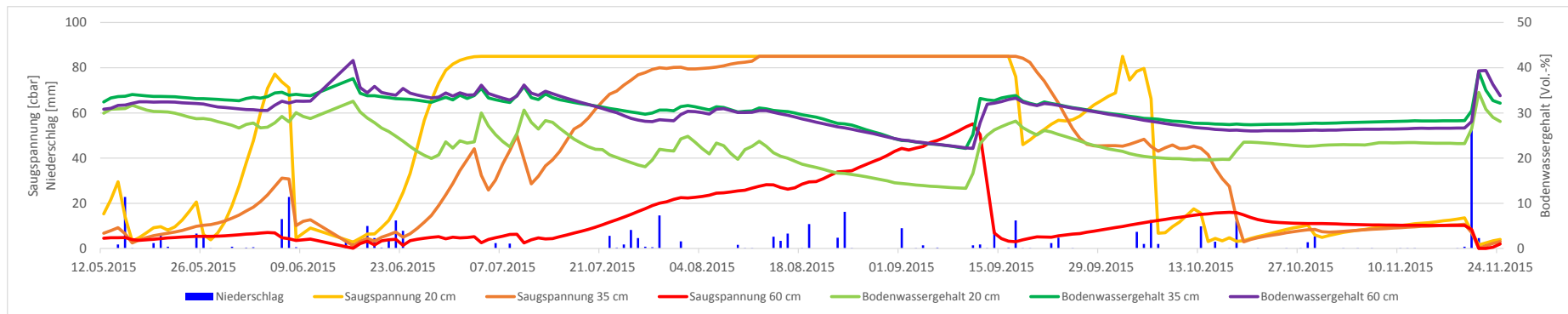


Abbildung 21: Tagesmittel-Zeitreihe Saugspannung und Niederschlag (linke y-Achse) und Bodenwassergehalt (rechte y-Achse) in Triengen 2015 (12.05. – 24.11.2015)

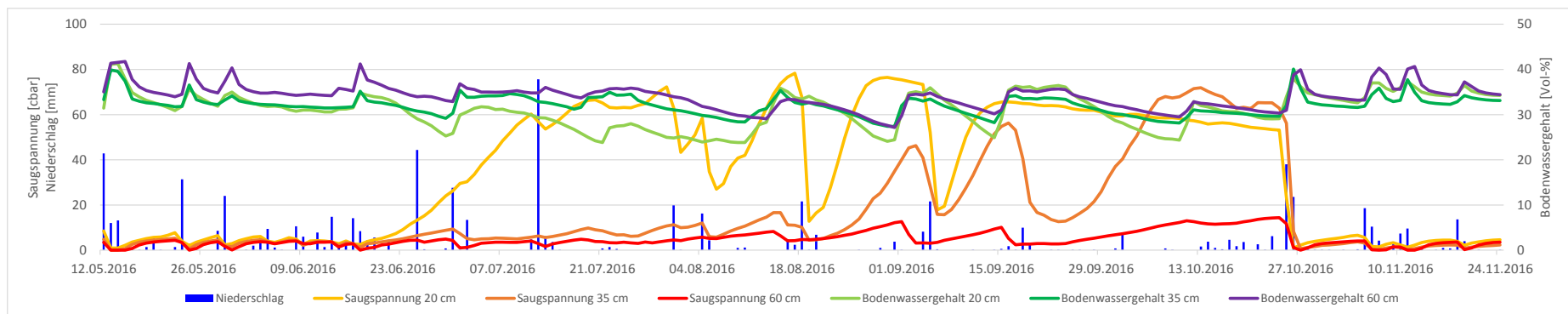


Abbildung 22: Tagesmittel-Zeitreihe Saugspannung und Niederschlag (linke y-Achse) und Bodenwassergehalt (rechte y-Achse) in Triengen 2016 (12.05. – 24.11.2016)

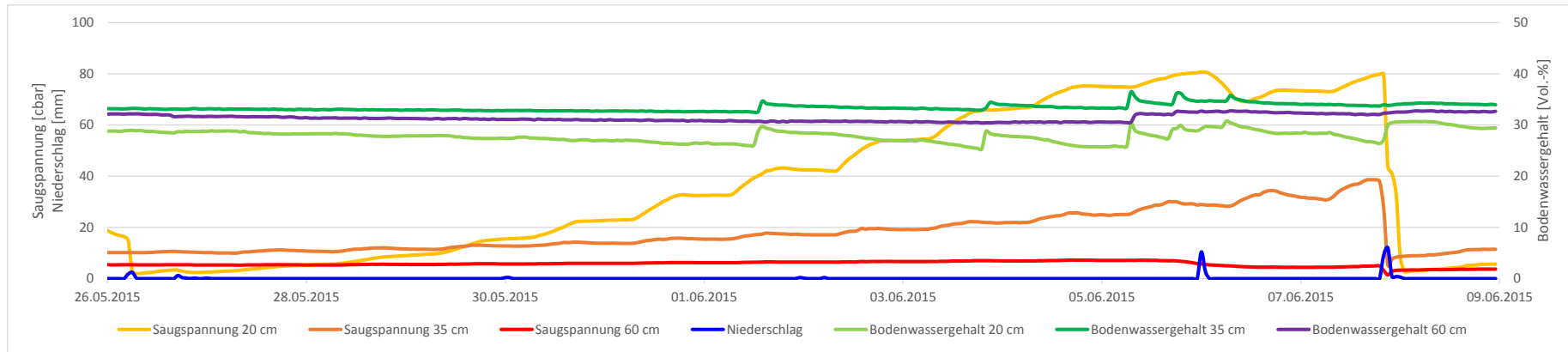


Abbildung 23: Bewässerungseffekt in den Bodenfeuchtemessungen Triengen 2015 (26.05. - 09.06.2015)

In Triengen wurden ebenfalls die Tensiometermessungen in 35 cm für die Beurteilung zur Bewässerungsbedürftigkeit der Kirschen-Plantage verwendet. Gemäss Tabelle 3 liegt der optimale Bodenfeuchtebereich für Kirschen zwischen 10 und 45 cbar. Die Messwerte lagen im Trockenjahr 2015 zu 45 % über der Bewässerungsgrenze (Abbildung 18). Das heisst, an 86 Tagen lagen 2015 die Messwerte so hoch, dass mehr bewässert werden sollte, 2016 nur an 30 Tagen (Tabelle 10).

Tabelle 10: Beurteilung der Bodenmessungen in Triengen (Vergleichsperioden 12.05. - 24.11.15 und 12.05. - 24.11.16)

Anzahl Tage	2015	2016	2015 und 2016	Beurteilung
< 10 cbar	56	121	177	nass
10-45 cbar	50	46	96	optimal
> 45 cbar	86	30	116	zu trocken, bewässerungsbedürftig

Die Reaktion der Sensoren in Triengen auf ein Regenereignis ist nicht immer mit einem Absenken der Saugspannung und einer Erhöhung der Wassergehalte verbunden. Dies hat mehrere Gründe. Die Kirschenplantage ist bei der Fruchtreifung mit Netzen überdeckt, welche Hagel, aber auch Regen abhalten. Das Wasser läuft so zwischen den Baumreihen ab und sickert dort in den Boden. Die Sensoren befinden sich direkt in der Baumreihe und somit wird ein Regenereignis in den Bodenmessungen nicht immer sichtbar. Zusätzlich wird die Kirschenplantage bewässert. Die Bewässerung erfolgt nach Augenmass. Das heisst, dass während den Sommermonaten eine Tropfbewässerung während den Morgen- und Abendstunden aktiviert wird. Leider wurden die Bewässerungsmengen nur zeitweise erfasst.

In Abbildung 23 ist dann auch der Bewässerungseffekt in der Kirschenplantage in Triengen ersichtlich. Vom 27.05.2015 bis am 06.06.2016 fiel kein Niederschlag, bei den empfindlicher reagierenden Trime-Sensoren (20 und 35 cm Tiefe) sind während dieser Periode verschiedene Anstiege zu beobachten. Diese Anstiege sind mit Wassergaben erklärbar. In einer Tiefe von 60 cm sind die Wassergaben aber nicht mehr beobachtbar. Bei den träger reagierenden Tensiometern ist dieser Bewässerungseffekt kaum erkennbar. Die Wellenlinie der Tensiometer-Messwerte stammen von starker Verdunstung bzw. Bodenaustrocknung während des Tages, während der Nacht hingegen findet keine Austrocknung statt.

5.2.3 Die Auswertung der Messdaten in Oberarth

In Oberarth waren in den Sommermonaten die Saugspannungswerte 2015 deutlich höher als 2016 (Abbildung 24 und Abbildung 25) und die Wassergehalte tiefer. Die trockenere Periode 2015 begann bei Messbeginn Anfangs Juli und dauerte bis etwa Mitte September. Im Gegensatz zu den anderen zwei Bodenmessstationen trockneten in Oberarth die Tensiometer nie aus.

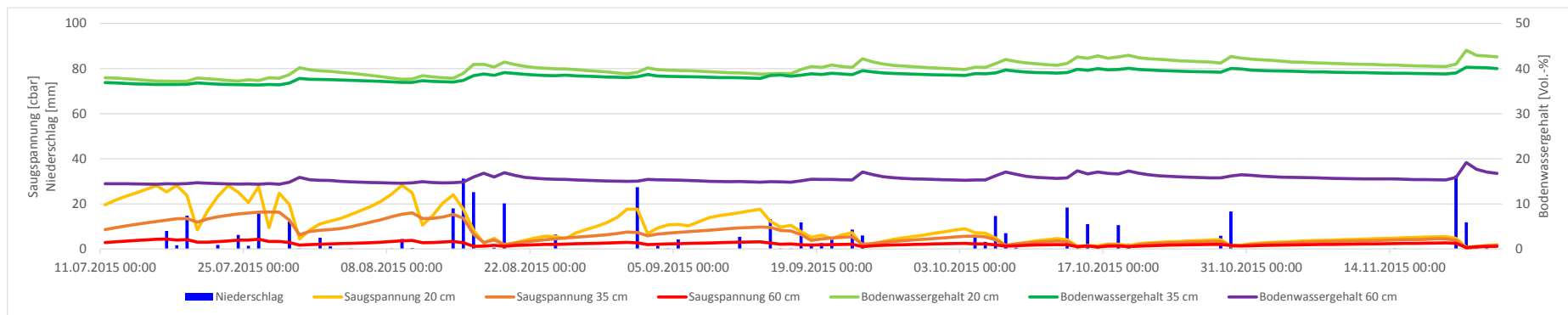


Abbildung 24: Tagesmittel-Zeitreihe Saugspannung und Niederschlag (linke y-Achse) und Bodenwassergehalt (rechte y-Achse) in Oberarth 2015 (11.07. - 24.11.2015)

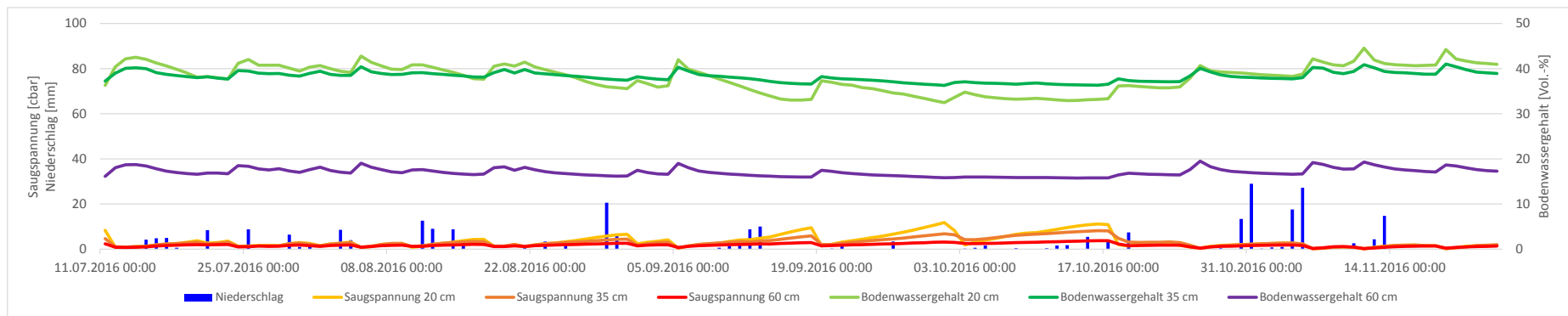


Abbildung 25: Tagesmittel-Zeitreihe Saugspannung und Niederschlag (rechte y-Achse) und Bodenwassergehalt (linke y-Achse) in Oberarth 2016 (11.07. - 24.11.2016)

In Oberarth wurden die Messwerte in 20 cm Tiefe zur Beurteilung der Bewässerungsbedürftigkeit der Heidelbeeren verwendet. Der optimale Bodenfeuchtebereich für Heidelbeeren liegt zwischen 10 und 30 cbar (Tabelle 3). Die Bewässerungsgrenze von 30 cbar wurde nie überschritten (Tabelle 11 und Abbildung 18).

Tabelle 11: Beurteilung der Bodenmessungen in Oberarth (Vergleichsperioden 11.07. - 24.11.15 und 11.07. - 24.11.16)

Anzahl Tage	2015	2016	2015 und 2016	Beurteilung
< 10 cbar	89	131	220	nass
10-30 cbar	48	6	54	optimal
> 30 cbar	0	0	0	Zu trocken, bewässerungsbedürftig

Ab Sommer 2016 waren die Heidelbeeren wegen der Kirschessigfliege mit Netzen überdeckt, was aber nach den Messwerten zu schliessen keinen Einfluss auf die Bodenfeuchte hatte.

6 Modell

6.1 Einleitung Modellierung

Die Modellierungen wurden in Zusammenarbeit mit Pascale Smith von Agroscope durchgeführt. Ziel der Modellierung war es, die Bodenfeuchte vorherzusagen und so aufzuzeigen, wie damit die Bewässerung optimiert werden kann. Im Folgenden sind die von Agroscope durchgeführten Simulationen mit AGS abgekürzt.

Die Bodenfeuchte hängt sehr stark von den bodenspezifischen Eigenschaften und von den Meteoparametern ab. Die bodenspezifischen Eigenschaften wurden bei der Installation der Messstationen aufgenommen.

6.2 Was wird modelliert?

Im Modell wird der Bodenwassergehalt berechnet. Er kann mithilfe der Desorptionskurve in die Saugspannung umgewandelt werden und somit kann bestimmt werden, ab welchem Zeitpunkt die Kultur bewässerungsbedürftig ist. Für die Modellierung wurden Tageswerte verwendet. Die Modellierung ist aber auch auf Stundenbasis möglich.

6.3 Methode

Das Modell basiert auf dem Konzept der Referenzverdunstung von der FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, deutsch: Welternährungsorganisation).⁶¹ Grundsätzlich dient diese Methode der Berechnung der Evapotranspiration durch die Penman-Monteith-Gleichung (oder Turc, je nach Verfügbarkeit der nötigen Input-Parameter). In Kombination mit der Wasserbilanz kann daraus die Bodenfeuchte berechnet werden.^{62, 63, 64}

6.4 Input-Parameter

Tabelle 12 gibt einen Überblick über die verwendeten fixen und variablen Inputparameter für das Bodenfeuchtemodell.

⁶¹ Allen RG, Pereira L.S., Raes D. and Smith M. (1998). Crop EvapoTranspiration: Guidelines for computing Crop Water Requirements: FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome, Italy, 300pp

⁶² Calanca, P., Smith, P. C., Holzkämper, A. und Ammann, C. (2011). Die Referenzverdunstung und ihre Anwendung in der Agrarmeteorologie. Agrarforschung Schweiz, 2 (4): 176–18.

⁶³ Smith, P. C., Calanca, P. and Fuhrer, J. (2012). A Simple Scheme for Modeling Irrigation Water Requirements at the Regional Scale Applied to an Alpine River Catchment. Water, 4, 869-886; doi:10.3390/w4040869

⁶⁴ Smith, P. C., Heinrich, G., Suklitsch, M., Gobiet, A., Stoffel, M. and Fuhrer, J. (2014). Station-scale bias correction and uncertainty analysis for the estimation of irrigation water requirements in the Swiss Rhone catchment under climate change. Climatic Change, DOI 10.1007/s10584-014-1263-4

Tabelle 12: Input-Parameter für das Bodenfeuchte-Modell

Fixe Parameter	Variable Parameter
Höhe über Meer und Koordinaten für die Anpassung von Standort-Parametern (atmosphärischer Druck)	Lufttemperatur
Regeneffizienz (z.B. Annahme: Die ersten 10 mm eines Regenereignisses haben keine Auswirkung auf die Saugspannung und gehen als oberflächiger Abfluss verloren)	Windgeschwindigkeit (2 m) (wenn vorhanden)
Bodentextur	Relative Luftfeuchtigkeit
Skelettanteil	Globalstrahlung
Pflanzennutzbare Gründigkeit	Niederschlag
Durchwurzelungstiefe	Kulturkoeffizient (Kc)
Trockenstresstoleranz der Pflanze (oder pro Phase)	(Bodenwassergehalt) ⁶⁵
SAT = Porenvolumen (Fein-, Mittel-, und Grobporen abgeleitet von der Desorptionskurve)	
FK (Feldkapazität)	
PWP (permanenter Welkepunkt)	

Der Kulturkoeffizient (Kc) wird genutzt, um den Wasserverbrauch einer bestimmten Kultur zu berechnen. Der Kc-Wert ist abhängig von Pflanzenart, -Höhe, -Abstand, -Alter, Bodenbedeckung und ändert sich je nach Wachstumsphase der Kultur, wobei der Wert meist zunimmt, die Pflanzen also mehr Wasser benötigen.

6.5 Modellvalidierung

Das Bodenfeuchtemodell wurde auf zwei verschiedene Arten validiert. Zum einen wurde die Bodenfeuchte nur mit Meteo-Input- sowie Boden- und Pflanzenparametern, aber ohne Bodenfeuchtemessungen modelliert (Kapitel 6.5.1). Mit diesem Ansatz wird verifiziert, wie gut das Bodenfeuchtemodell physikalisch arbeitet. Beim zweiten Validierungsansatz werden die Bodenfeuchtemessungen

⁶⁵ Der Bodenwassergehalt wurde nur für die Validierung „geeichtes Modell“ als Input-Parameter verwendet (siehe Kapitel 6.5.2)

jeden 5. Tag als Modellinput verwendet (Kapitel 6.5.2). Mit diesem Ansatz wird ein Einblick darin gegeben, wie gut das Modell an einem Standort mit Online-Messungen eine 5-Tages-Prognose erstellen kann.

Bei beiden Modellansätzen werden gemessene Meteo-Input-Parameter verwendet und nicht prognostizierte. Der Grund dafür liegt darin, dass mit dem Vergleich die Qualität des Bodenmodells und nicht des Meteomodells validiert werden soll.

Das Modell wurde auf der Station Gelfingen angewandt mit den Meteo-Inputparametern der nahegelegenen Agrometeo-Station Gelfingen.^{66, 67}

6.5.1 Vergleich Modell-Messdaten

Zur Überprüfung der Simulation wurden die Modellresultate mit den Messdaten der Trime-Sonden verglichen. Da die Sonden in verschiedenen Tiefen liegen, wurde die beste Übereinstimmung von Messwerten und Modellwerten gesucht. Der Mittelwert der zwei Sonden in 20 cm und der zwei Sonden in 35 cm Tiefe wird vom Modell am besten repräsentiert. Zusätzlich repräsentiert der Mittelwert dieser beiden Tiefen die Bodenfeuchte im Durchwurzelungsbereich der Apfelbäume.

Abbildung 26 zeigt den Verlauf der vier Messungen (dünne Kurven) und der Simulation (dicke schwarze Kurve) von Anfang Januar 2015 bis Ende Oktober 2015 als Tagesmittelwerte.

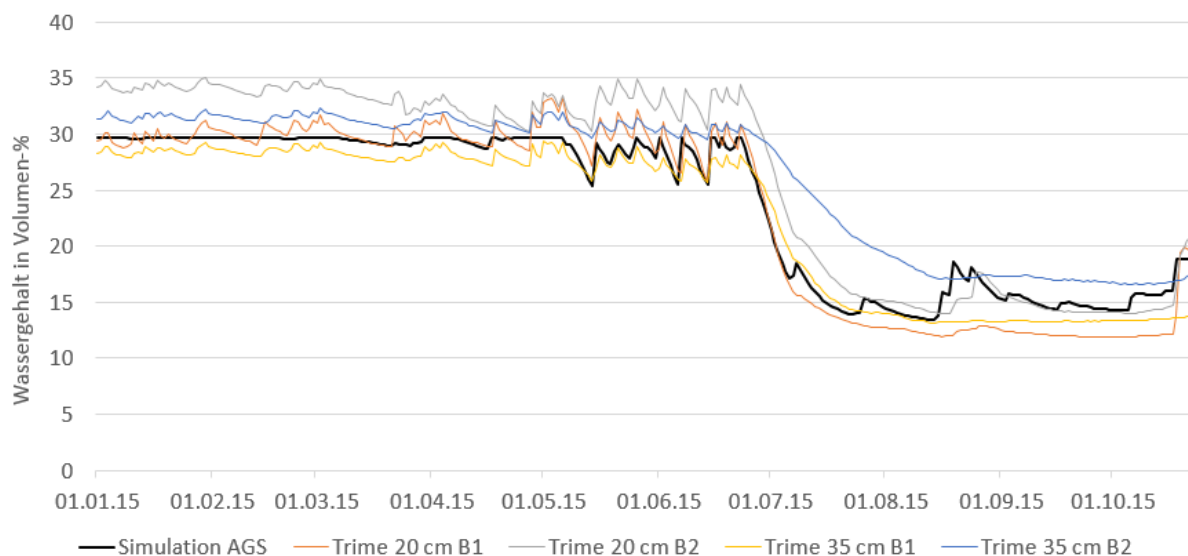


Abbildung 26: Bodenfeuchte in Gelfingen: Vergleich der «Simulation AGS» mit den Messwerten in 20 cm und 35 cm Tiefe von Januar bis Oktober 2015

⁶⁶ Standortdokumentation Bodenfeuchte-Messstation Gelfingen, inNET Monitoring AG, 2015

⁶⁷ <http://www.agrometeo.ch/de>

6.5.2 Geeichtes Modell mit Einbezug der Messdaten (geeichte Simulation)

Um mithilfe der Messwerte die Prognose zu verbessern, wurde an jedem 5. Tag die Differenz zwischen Modell und Messwerten berechnet und bei den folgenden 5 Tagen diese Differenz abgezogen/dazugerechnet. Dieses Verfahren zeigt auf, dass mit Einbezug der Messwerte die Prognosen deutlich verbessert werden können.

Auch die Korrelationen in Abbildung 27 zeigen, dass die Simulation sehr gut mit den Messwerten übereinstimmt und dass diese Korrelation nochmals verbessert wird durch den Einbezug der Messwerte («geeichte Simulation») (Abbildung 28).

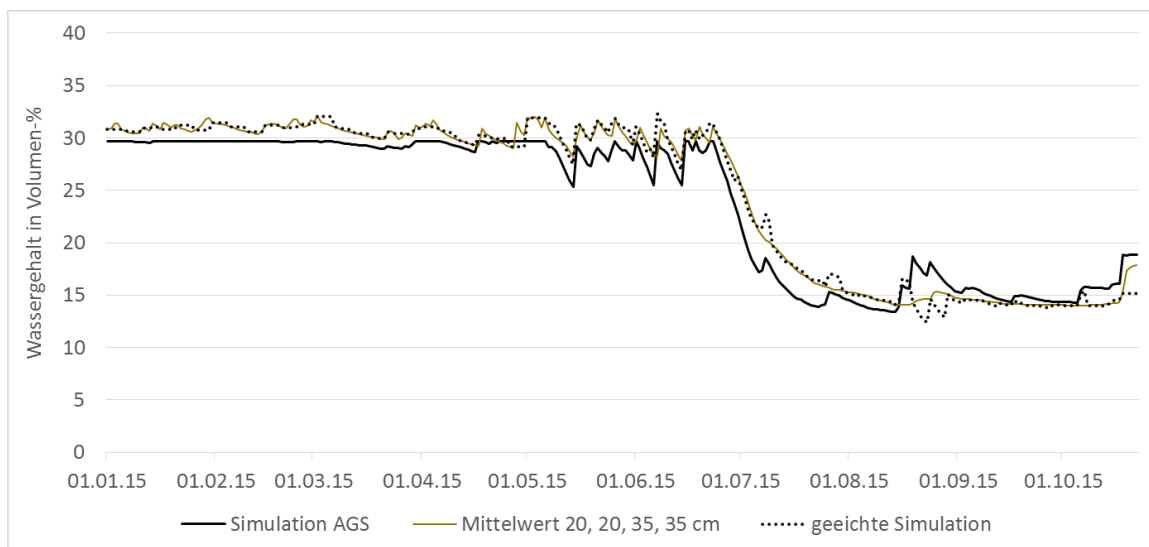


Abbildung 27: Bodenfeuchte in Gelfingen: Verlauf der «Simulation AGS» und der «geeichten Simulation» im Vergleich mit den Messwerten (Mittelwert der Trime-Sonden in 20 cm und 35 cm Tiefe) von Januar bis Oktober 2015

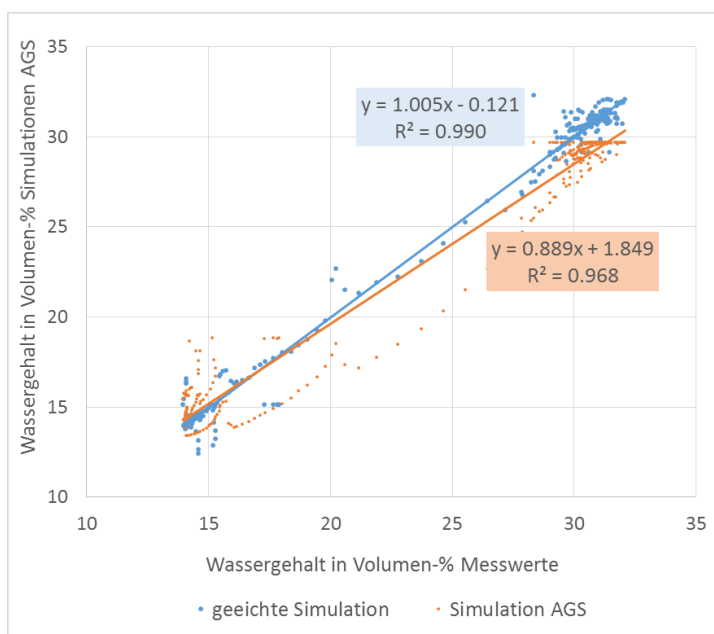


Abbildung 28: Korrelationsgraphik: Mittelwert der Trime-Sonden Messwerte in 20 cm und 35 cm Tiefe korreliert mit «Simulation AGS» (rote Punkte) und «geeichter Simulation» (blaue Punkte) für die Periode Januar bis Oktober 2015 in Gelfingen

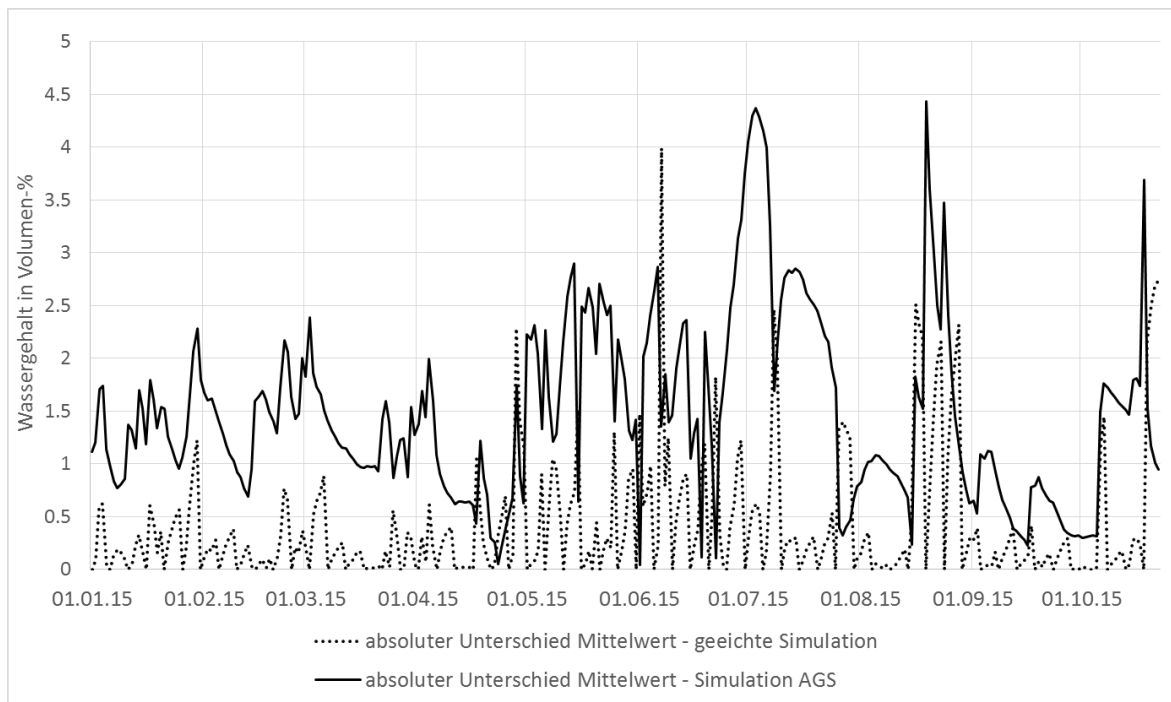


Abbildung 29: Abweichungen der «Simulation AGS» und der «geeichten Simulation» von den Messwerten als absolute Differenzen zum gemessenen Mittelwert der Trime-Sonden in 20 cm und 35 cm Tiefe von Januar bis Oktober 2015

Als Zusammenfassung sind in Abbildung 29 und in Tabelle 13 die mittleren absoluten und prozentualen Differenzen für die beiden Simulationen aufgelistet. Es wird klar ersichtlich, dass mit Einbezug der Online-Messungen die Modelliergenauigkeit signifikant erhöht werden kann.

Tabelle 13: Mittlere Abweichungen zwischen den Messdaten und Simulationen AGS

	Absolute Differenz	Prozentuale Differenz
Messdaten-Simulation AGS	1.5 Feuchte-%	6.5 %
Messdaten-geeichte Simulation	0.5 Feuchte-%	2.0 %

6.6 Fazit der Modellierung

Der Vergleich der gemessenen und der modellierten Bodenfeuchte zeigt für den Standort Gelfingen eine sehr gute Übereinstimmung. Die Modellgenauigkeit ist genügend gut, um ein operationalisiertes Produkt in der Praxis nutzen zu können. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Modellqualität auch für andere Standorte erreicht wird. Dazu müsste das Modell noch erweitert und verifiziert werden. Die vorhandenen Messdaten können als Basis dazu dienen.

7 Massnahmenkatalog

Das Ziel des Massnahmenkatalogs besteht darin, anhand einer Literaturrecherche, von Interviews mit Landwirten (siehe auch Kapitel 3) sowie mit Landwirtschaftsberatern aufzuzeigen, welche Massnahmen in der Landwirtschaft praktiziert werden und welche möglich wären, um den Wasserverbrauch zu optimieren. An dieser Stelle sei insbesondere Philippe Monney, Agroscope, und Markus Hunkeler, BBZ Hohenrain, Dank für die ausführlichen Diskussionen ausgesprochen.

Folgendes Zitat von Jürg Fuhrer, Agroscope, zeigt auf, dass die Bewässerungseffizienz in der Landwirtschaft insbesondere mit fortschreitendem Klimawandel weiter optimiert werden muss: «Zuerst denkt man, Bewässerung ist die Lösung: Wenn der Wasserbedarf steigt, dann bewässert man eben, um die Erträge zu sichern. Aber das kann nicht funktionieren, weil wir in Zukunft weniger Wasser haben werden. Es kommt darauf an, die Landwirtschaft weniger wasserbedürftig zu machen. Das verfügbare Wasser muss effizienter genutzt werden.»⁶⁸

Das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) hat sich auch mit der strategischen Ausrichtung der Landwirtschaft in Rahmen des Klimawandels auseinander gesetzt. Abbildung 30 gibt einen Überblick über die acht definierten Handlungsfelder des BLW im Bezug zur Anpassung an die zunehmende Trockenheit, welche sich in die Bereiche Pflanzenbau (P), Wasser (W) und gesamt- und überbetrieblichen Aspekte (B) einteilen lassen.

⁶⁸ Bewirtschaftung der Wasserressourcen unter steigendem Nutzungsdruck, NFP 61 – Thematische Synthese 2 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61, «Nachhaltige Wassernutzung»
http://www.snf.ch/SiteCollectionDocuments/medienmitteilungen/mm_141106_nfp61_thematische_synthese_2_d.pdf



Handlungsfelder aus der Klimastrategie Landwirtschaft



Abbildung 30: Handlungsfelder der Klimastrategie Landwirtschaft des Bundesamts für Landwirtschaft (BLW)⁶⁹

In einem ganz aktuell erschienenem Bericht „Brennpunkt Klima Schweiz: Grundlagen, Folgen und Perspektiven“⁷⁰ werden die Herausforderungen im Zusammenhang mit dem Klimawandel beschrieben. Darin werden auch Möglichkeiten diskutiert, um schonender mit der knapper werdenden Ressource Wasser umzugehen. Insbesondere werden dort wie auch im vorliegenden Bericht eine höhere Bewässerungseffizienz (Kapitel 7.1), Verschiebung der Saatzeitpunkte (Kapitel 7.4) und eine schonendere Bodenbearbeitung (Kapitel 7.5) genannt. Ebenfalls wird auf die Organisation der Kulturlandschaft eingegangen. Vorschläge beziehen sich auf die Verteilung der Kulturen; dass sie dort angebaut werden, wo die Klima- und Bodeneignung und Wasserverfügbarkeit günstig sind (Kapitel 7.3). Zudem werden Entnahmekontingente oder die Änderung des Wasserpreises genannt, um die Landwirtschaftsbetriebe zu eigenen Wassereinsparungsmassnahmen zu bringen (Kapitel 7.9.1).⁷⁰

Diese und weitere Themen werden im Folgenden erörtert.

7.1 Bewässerung

Die Bewässerung ist die häufigste Massnahme in der Obst-, Beeren- und Gemüseproduktion im Umgang mit Trockenheit. Dank der Bewässerung ist die Bewirtschaftung vieler landwirtschaftlicher Flächen vor allem in der Gemüse-, Beeren- und Obstproduktion überhaupt möglich.

⁶⁹ Klimastrategie Landwirtschaft, Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel für eine nachhaltige Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft, 2011, BLW <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/nachhaltige-produktion/umwelt/klima.html>

⁷⁰ Akademien der Wissenschaften Schweiz (2016), Brennpunkt Klima Schweiz. Grundlagen, Folgen und Perspektiven. Swiss Academies Reports 11 (5) http://www.naturwissenschaften.ch/uuid/2b06c5fb-cc63-5e48-a6f8-4c011eb84888?r=20161005181841_1478563223_0d8762b6-48e9-5186-a15e-a89c7ed607ff

7.1.1 Optimierte Bewässerungssysteme

Das Ziel optimierter Bewässerungssysteme besteht darin, mit möglichst geringem Wasserverbrauch die Pflanzen optimal versorgen zu können. Abbildung 31 gibt einen Überblick über die verschiedenen Bewässerungsverfahren.

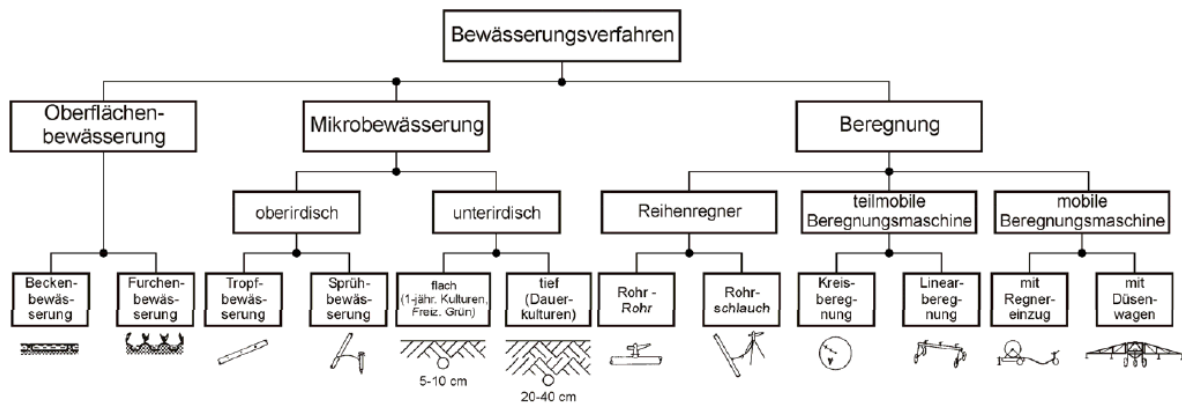


Abbildung 31: Überblick der Feldbewässerungsverfahren⁷¹

Dabei werden die drei Hauptarten Oberflächenbewässerung, Mikrobewässerung und Beregnung unterschieden. Bei der Mikrobewässerung wird zwischen oberirdischer und unterirdischer Bewässerung unterschieden. Die verschiedenen Arten der Mikrobewässerung, welche auch als lokale Bewässerung bezeichnet werden, stellen die wassersparsamsten Systeme der Bewässerung dar. Im Folgenden wird auf diese Arten näher eingegangen.

7.1.1.1 Sprühbewässerung oder Mikrosprinkler

Bei der Mikrobewässerung werden Verteilerleitungen so gelegt, dass alle Pflanzen damit erreicht werden. Sie werden bei Wechsel der Kultur wieder neu installiert. Bei der Sprühbewässerung wird das Wasser mittels Sprühdüsen in Einzelstrahlern oder als Wasserschleier verteilt (Abbildung 32). Ziel ist es, nur den Bereich zu bewässern, aus dem die Pflanze das Wasser zieht.^{72, 73}

⁷¹ Bewässerungstechnik in landwirtschaftlichen Grossbetrieben, Sourell H., vTI, Braunschweig, https://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/Block1_2_Sourell_2.pdf

⁷² Bewässerung in der Landwirtschaft, Rickmann Michel/Heinz Sourell, Agrimedia, 2014

⁷³ Monney P., Bravin E. Bewässerung von Obstbäumen. 2011



Abbildung 32: Mikrosprinkler

7.1.1.2 Tropfbewässerung

Bei der Tropfbewässerung wird das Wasser den einzelnen Pflanzen tröpfchenweise zugegeben. Es wird mit niedrigem Wasserdruck und kleiner Bewässerungsintensität gearbeitet. Damit wird das Wasser möglichst direkt der Pflanze zugeführt und die Verdunstungsverluste beschränken sich auf ein Minimum. Die Tropfbewässerung ist die wassersparendste Bewässerungsmethode. Die Installation der Tropfbewässerung ist aber sehr arbeits- und zeitintensiv.



Abbildung 33: Tropfbewässerung in der Kirschenplantage in Triengen und Tropfbewässerung auf Kartoffeldämmen

7.1.1.3 Mobile Tropfbewässerung

Auf landwirtschaftlichen Grossbetrieben werden teilweise Reihenberegnungsmaschinen oder Kreisberegnungsmaschinen eingesetzt. In neuester Zeit wurde auch eine mobile Tropfbewässerung entwickelt, welche in Grossbetrieben eingesetzt werden kann.^{74, 75}



Abbildung 34: Mobile Tropfbewässerung

7.1.1.4 Teilflächenspezifische Beregnung (Precision Irrigation)

Bei der teilflächenspezifischen Beregnung werden die Bodenparameter für die Bewässerung miteinbezogen, so dass computergesteuert je nach Teilfläche verschiedene Wassermengen angewendet werden. Dieses Verfahren ist zurzeit noch nicht genügend entwickelt und selten angewendet in Europa.^{74, 76}

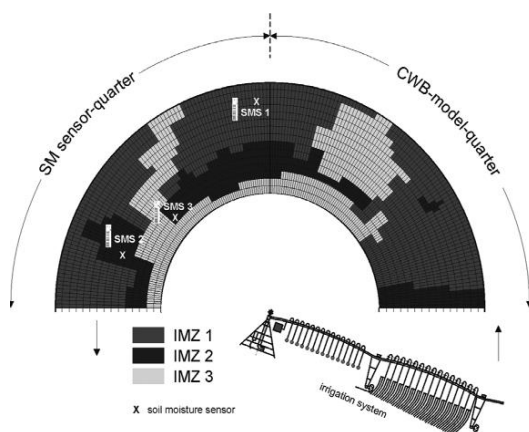


Abbildung 35: Darstellung einer teilflächenspezifischen Beregnung

⁷⁴ https://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/Block1_2_Sourell_2.pdf

⁷⁵ <http://www.kartoffelproduzenten.ch/profiseite/fag/bewaesserung.html> (Zugriff: 10.11.2016)

⁷⁶ LANDTECHNIK 3/2008: Aboutaleb Hezarjaribi, Heinz Sourell und Franz-Josef Bockisch, Braunschweig; Teilflächenspezifische Beregnung

7.1.2 Bewässerungssteuerung

Oft wird die Bewässerung nach Gefühl gesteuert. Dies führt für die Pflanzen immer wieder zu temporärem Wasserstress wegen Wassermangel, wobei aus der Kultur nicht das Optimum an Ertrag und Qualität produziert werden kann. Ebenfalls wird bei der Bewässerung nach Gefühl oft auch zu viel bewässert, wobei das Wasser dann entweder ungenutzt versickert oder sogar Staunässe bilden kann, was sich sehr nachteilig auf die Kultur auswirken kann. Darum ist es sinnvoll, bei grösseren Obst-, Beeren- oder Gemüseanlagen nicht nur nach Gefühl zu bewässern, sondern die Bewässerungsbedürftigkeit der Pflanzen zu messen oder zu berechnen.

Der Wasserverbrauch einer Pflanze variiert stark je nach Entwicklungsstand, nach klimatischen Bedingungen, nach Wasserspeicherkapazität des Bodens, nach Saison, Anbautechnik, Kultur und vieles mehr.

In der Praxis werden entweder Messungen der Bodenfeuchte vorgenommen oder es wird eine Wasserbilanz erstellt und so die Bewässerung gesteuert.⁷⁷

7.1.2.1 Steuerung nach Bodenfeuchte

Mit der Information der Bodenfeuchte im Wurzelbereich einer Pflanze kann man ableiten, wie gut die Pflanze noch Wasser aufnehmen kann und ob Bewässerungsbedarf besteht. Je nach Heterogenität der zu bewässernden Fläche müssen mehrere Sensoren eingebaut werden. Die Höhe und Frequenz der Wassergabe hängt sehr stark von der Bodenart und der Kulturart ab.

Die meistverwendeten Sensoren sind Tensiometer und Watermark-Sensoren. Watermark-Sensoren besitzen den grösseren Messbereich (0-200 cbar) gegenüber den Tensiometern (0-80 cbar). Sie sind jedoch weniger genau, vor allem auch bei Messungen im nassen Boden.⁷⁸

7.1.2.2 Steuerung nach Wasserbilanz

Für die Berechnung der Wasserbilanz müssen die potenziellen Verdunstungswerte, die Niederschlagsmengen am Standort und ein pflanzenspezifischer Korrekturfaktor k_c bekannt sein. Die Wasserbilanz kann jeder Betrieb für seine Kulturen selbst durchführen, die Verdunstungswerte können zum Beispiel bei den Wetterdaten von Agrometeo (www.agrometeo.ch) abgefragt werden.

7.1.3 Wasserspeicherung

Wasserspeicherung erlaubt die Fassung von Regen- oder Quellwasser in Zeiten mit Überangebot. Zwei verschiedene Lösungen zur Wasserspeicherung sind in Abbildung 36 dargestellt.^{79, 80}

⁷⁷ Bedarfsorientierte Bewässerung im Obstbau, Zusammenstellung vom Profiseminar 06.11.2012 in Oppenheim, Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum, Rheinpfalz, Kompetenzzentrum Gartenbau

⁷⁸ Abschlussbericht Projekt „Optimierung der Bewässerung für den Freilandgemüseanbau“, Dr. Michael Beck, HSWT Freising, 2014

⁷⁹ Foto: <http://www.niffel.ch>

⁸⁰ Foto: <http://www.feigel.net>

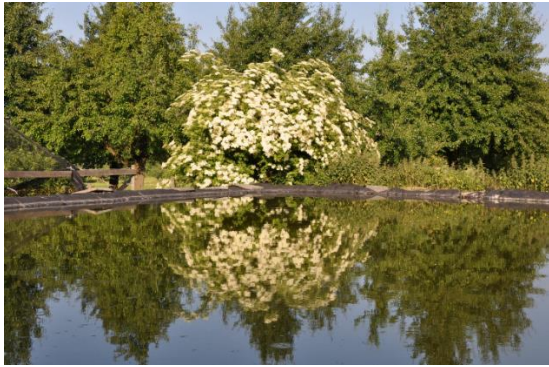


Abbildung 36: Regenwasserspeicher für die Bewässerung von landwirtschaftlichen Kulturen. Links: Folienerdbecken und rechts Stahlbecken

7.1.4 Bewässerungszeitpunkt

Indem die Bewässerung in die Abend- und Nachtstunden verlegt wird, wenn die Verdunstung geringer ist als während des Tages, kann die Bewässerungseffizienz auf einfache Art gesteigert werden.⁸¹

7.1.5 Defizitbewässerung

Die Defizitbewässerung ist eine Strategie, bei welcher die Wassergabe unterhalb des Optimums für die Pflanzen angepasst wird, die aber nicht deren Ertrag oder Qualität beeinträchtigen sollten. Die Defizitbewässerung wird phasenweise angewendet, das heisst, in der ersten Entwicklungsphase (Zellteilung bis Fruchtansatz) wird normal bewässert, in der zweiten Phase (langsames Zellwachstum bis 2-4 Wochen vor der Ernte) wird weniger bewässert und in der dritten Phase (schnelles Zellwachstum bis Ernte) wird wieder voll bewässert. In Studien wurde gezeigt, dass so fast bis zu 50 % Wasser gespart werden kann ohne grössere Einbussen bei der Ernte.^{82, 83}

7.2 Sorten- und Unterlagenwahl

Bei der Kultur- und Sortenwahl im Obstbau muss zwischen Sorte und Unterlage unterschieden werden. Die Sorte, welche in Form von Stecklingen auf die Unterlage gesteckt wird, beeinflusst das Aussehen und Geschmack des Obstes, die Unterlage beeinflusst die Wachstumsbedingungen.

Die Unterlage M9 ist mit Abstand die meistverwendete Unterlage beim **Apfel** in der Schweiz. Sie ist nicht speziell trockenheitstolerant. Als tolerant gegenüber Trockenheit werden die Unterlagen M7 und MM11 beschrieben⁸⁴.

⁸¹ Wäre die Wassermenge kontingentiert, würde der Verbrauch deutlich zurückgehen, Fuhrer, AQUA & GAS, No 9, 2012

⁸² Bewässerung von Obstbäumen, Agroscope, P. Monney, 2011

⁸³ Influence de l'irrigation déficitaire sur le rendement, la qualité de pommes 'Gala' et l'économie en eau, 2013 A. Chenfafi, P. Monney, M. Ceymann, E. Arrigoni, A. Boudoukha et C. Carlen

⁸⁴ <http://www.garten-ffb.de/PDF/unterlagen.pdf>

Im **Birnenanbau** werden meistens Quittenunterlagen verwendet. Die Birne selbst als Unterlage war lange in intensiven Obstanlagen nicht interessant. Dank neuerer Entwicklungen hat das Interesse aber wieder zugenommen. Sie sind in der Regel toleranter gegenüber Trockenheit als Quittenunterlagen.⁸⁵ Die Sorte Gute Luise liebt trockenes und warmes Klima und wird vor allem in der Westschweiz angebaut.⁸⁶ Im Birnenanbau wird auch bei trockenen Bedingungen die Mikado- oder Drillingsform der Bäume empfohlen anstelle der Spindel, da diese widerstandsfähiger gegen Trockenheit sind. (Abbildung 37).⁸⁷

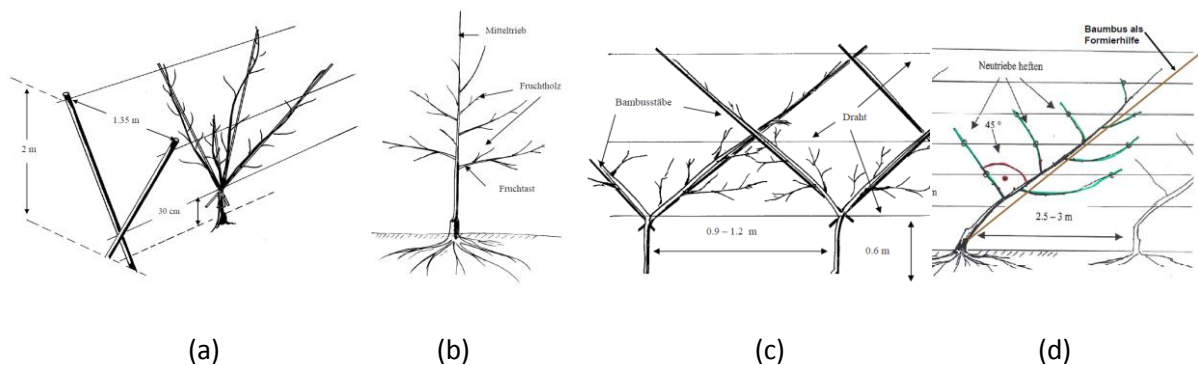


Abbildung 37: Baumformen im Birnenanbau: Mikado- oder Drillingsform (a), Spindel (b), belgische Hecke (c) und Drapeau (d)

Bei den **Kirschunterlagen** wird Piku 1 als angepasst an trockene, sandige Standorte genannt. Bei vielen Kirschunterlagen fehlt jedoch die Erfahrung.⁸⁸ Ebenfalls werden die Unterlagen Weigi® 1-3 als gut angepasst an trockenes und heisses Klima genannt.⁸⁹

Als Empfehlung von **Zwetschgensorten** wird die Cacaks Fruchtbare als mögliche Alternative zu Fellenberg in trockenen Gebieten erwähnt.⁸⁶

7.3 Gezielte Standortwahl

Die Wasserbilanz für das pflanzenverfügbare Wasser im Boden muss positiv sein, das heisst der Wasserinput (Regen, pflanzenverfügbares Wasser im Boden und Wasserzuschüsse aus Hang- und Grundwasser) muss grösser sein als der Wasserverlust (Wasserverbrauch der Pflanze, Wasserverdunstung über Boden- und Pflanzenoberfläche, Wasserabflüsse). Falls die Bilanz negativ ausfällt, bekommt die Kultur zu wenig Wasser und es kann zu Ertragsausfällen kommen.

⁸⁵ Unterlagensteckbrief: Unterlagen im Birnenanbau, Monney, Egger, Agroscope, 2013

⁸⁶ Anbauempfehlungen für die Zentralschweiz, Landwirtschaft und Wald (Iawa), Kantonale Fachstelle für Obstbau der Kantone Zug und Schwyz, Januar 2007

⁸⁷ Anbauempfehlung für die Obstregion Nordwestschweiz, Kantonale Fachstellen für Obstbau Aargau, Basel-Stadt, Solothurn, Zürich, steinobstzentrum Breitenhof, Agroscope, Januar 2016

⁸⁸ Sorten- und Unterlagenbewertung Kirschen und Zwetschgen, Herausgeber: Fachkommission für Obstsortenprüfung, Isabel Mühlentz und Thomas Schwizer, Agroscope, 2013

⁸⁹ www.weigi.com

Die optimierte Bewirtschaftung in Bezug auf den Klimawandel kann den Bedingungen so angepasst werden, dass die Kulturen mit hohem Wasserverbrauch in Regionen mit hohen Niederschlägen angebaut werden.

Ein anderer Parameter der Wasserbilanz ist die Wasserspeicherkapazität der Böden. Diese hängt von der Bodenstruktur ab. Der Boden ist zu etwa 50 % mit Hohlräumen, den Poren gefüllt. Diese Poren können Wasser speichern. Dabei ist aber nur das Wasser in den Mittelporen pflanzenverfügbar. Das Wasser in den Grobporen entwässert zu schnell und das Wasser in den Feinporen ist zu fest an die Bodenmatrix gebunden. Je sandiger und flachgründiger der Boden ist, desto weniger kann er Wasser speichern. Je tiefgründiger und lehmiger der Boden ist, desto besser kann er Wasser zurückhalten. Ein sandiger Boden kann 10 mm Wasser auf 10 cm Bodentiefe speichern, ein lehmiger Boden kann über das Doppelte speichern. Ein mittelschwerer, nicht verdichteter Boden mit 1 m pflanzennutzbarer Gründigkeit kann 160 l (160 mm) Wasser pro Quadratmeter speichern. Davon sind 100 l leicht verfügbar für die Pflanzen.⁹⁰

Die Wasseraufnahme ist in sandigen Böden effizienter als in lehmigen, ein sandiger Boden wird aber auch wieder schneller entwässert. Ein sandiger Boden kann während eines Regenereignisses 20 mm Wasser pro Stunde aufnehmen, ein lehmiger Boden hingegen nur 10 mm.

Das Wasserrückhaltespeichervermögen der landwirtschaftlichen Böden ist von grosser Wichtigkeit. Es kann gefördert werden durch gezielten Humusaufbau (organisches Material, Hofdünger, Pflanzenspreu, Erntereste), geeignete Fruchtfolgen und Minimalbodenbearbeitung.

7.4 Verschieben der Saatzeitpunkte

Die Saatzeitpunkte sind gemäss den angesäten Kulturen verschieden. So zum Beispiel können Winterkulturen wie Winterraps die Wintermonate, welche in der Regel sehr nass sind, besser nutzen. Zusätzlich sind diese Winterkulturen gut, da sie ein Brachliegen der Äcker verhindern.

7.5 Bodenbearbeitung

In der biologischen Landwirtschaft wird dem Hacken des Bodens grosse Aufmerksamkeit geschenkt. Das Aufrauen der Bodenoberfläche und das Aufbrechen von Krusten fördert die Infiltration des Regenwassers.⁹¹ Eine schonende Bodenbearbeitung erhält die Bodenstrukturen und fördert die Wasserrückhaltung.⁹²

⁹⁰ http://www.strickhof.ch/custom/strickhof.ch/userfiles/files/Fachwissen/Pflanzenbau/Kartoffelbau/Bewaesserung/beregnung_grundlagen2.pdf, (Stand 04.03.2016)

⁹¹ Drastig et al. (2010): Wassermanagement in der Landwirtschaft, Diskussionspapier 3, berlin-brandenburgische Akademie der Wissenschaften

⁹² Akademien der Wissenschaften Schweiz (2016), Brennpunkt Klima Schweiz. Grundlagen, Folgen und Perspektiven. Swiss Academies Reports 11 (5)

7.6 Mulch- und Direktsaat

7.6.1 Mulchsaat

Unter Mulchsaat⁹³ (Abbildung 38) versteht man ein pflugloses Saatverfahren, bei dem die Pflanzenreste einer Zwischenfrucht oder das Stroh der Vorfrucht vor und nach der Neuaussaat die Bodenoberfläche bedecken. Durch die Bedeckung trocknet der Boden weniger aus.



Abbildung 38: Mulchsaat beim Mais

7.6.2 Direktsaat

Unter Direktsaat (Abbildung 39) versteht man eine Ackerbaumethode ohne Bodenbearbeitung vor der Saat. Die Saat erfolgt ohne Bodenbearbeitung direkt nach erfolgter Ernte bzw. in das unbearbeitete Brachland. Die Rückstände des Pflanzenmaterials der Vorkultur verbleiben als Mulch auf dem Acker. Spezielle Vorrichtungen an der Sämaschine öffnen lediglich schmale Schlitzte in die Bodenoberfläche. Diese Schlitzte werden nach Saatgutablage mit Erde abgedeckt. Charakteristisch für das Direktsaatsystem ist die Mulchschicht, die den Boden im günstigsten Fall das ganze Jahr bedeckt. Durch die dauerhafte Bedeckung wird der Wasserverlust durch Verdunstung gesenkt.



Abbildung 39: Direktsaat ohne jegliche Bodenbearbeitung⁹⁴

⁹³ Foto: <http://www.mr-rosenheim.de>

⁹⁴ Foto: <https://www.schweizerbauer.ch/pflanzen/ackerbau/ap-17-aufwind-fuer-direktsaat-9132.html>

7.7 Pflanzung und Wachstum

Die Setzlinge bestimmter Gemüsesorten werden nur auf die Erde «gestellt» anstatt richtig in die Erde eingepflanzt. Dadurch entwickeln sie vertikale tiefere Wurzeln, welche bis in tiefere Bodenschichten reichen, um das Wasser, welches in tieferen Bodenschichten gespeichert ist, zu erreichen.

In den Klimabereichen, die es zulassen, kann eine Möglichkeit sein, überhaupt nicht zu bewässern. Dadurch entwickeln die Pflanzen tiefere Wurzeln, welche weitere Wasserreserven erreichen können.

7.8 Bodenabdeckung, Wall

Viele Landwirte arbeiten auch mit Bodenbedeckung, um die Verdunstung im Boden zu vermindern. Möglichkeiten sind Mulchen, Bewuchs von Grasland, Abdeckungen oder die Aufschüttung eines Walles um die Pflanzenwurzeln. Dieser fördert ein feuchteres Klima im Wurzelbereich. Diese Methode wird vor allem auch bei den jungen Obst- und Beerenpflanzen angewendet.

7.9 Massnahmen Behörden

7.9.1 Anreizsystem für effiziente Wassernutzung

Mit den Veränderungen der klimatischen Bedingungen ist ein Anstieg des Bewässerungsbedarfes auch in der Schweiz sehr wahrscheinlich. Im Gesamten betrachtet ist der Anteil des Wassers, das für die landwirtschaftliche Bewässerung genutzt wird, nur klein. Jedoch kann es dort, wo die Wasserressourcen zeitlich und räumlich begrenzt sind, zu Nutzungskonflikten kommen mit anderen Wassernutzern. So hat zum Beispiel der Bund eine Restwassermenge für Gewässer bestimmt.

Mit einer Anhebung des Wasserpreises oder über Wasserkontingente könnte ein Anreiz geschaffen werden, um sparsamere Bewässerungsanlagen einzusetzen. Zudem könnte damit verhindert oder minimiert werden, dass Kulturen mit hohem Wasserverbrauch in trockenen Regionen angebaut werden.

Wichtig ist aber vor allem auch, dass gute Ausbildungen und Informationen bezüglich wasserschonendem Anbau und Bewässerungsverfahren für Obst-, Gemüse- und Beerenproduzenten zugänglich sind.⁹⁵

7.9.2 Messdaten und Prognosen

In wie weit es Behördenaufgabe ist, Bodenfeuchtemessdaten und –Prognosen möglichen Nutzern zur Verfügung zu stellen, ist eine politische Diskussion, auf welche hier nicht eingegangen wird. Nichts desto trotz wird an dieser Stelle ein Bodenfeuchtemessnetz als Massnahme aufgeführt, da ein gewisser Bedarf an Online-Messdaten vorhanden ist. So wird beispielsweise im Bericht des Bundesrates zum Postulat „Wasser und Landwirtschaft. Zukünftige Herausforderungen“ (Postulat Walter) vorgeschlagen eine schweizweites Bodenfeuchtemessnetz als Anpassungsmassnahme an den Klimawandel

⁹⁵ <http://agrarpolitik-blog.com/2013/02/05/wasser-braucht-einen-preis/> (Stand 04.03.2016)

zu prüfen (Massnahme 3-2: Verbesserung der Datengrundlage – Monitoring - Bodeninformationssystem).⁹⁶

7.9.2.1 Bodenfeuchtemessungen

Um die Bewässerung von einzelnen Kulturen zu steuern, braucht es aufgrund der Heterogenität der Böden, des sommerlichen Niederschlags, der Verdunstungsraten verschiedener Kulturen und weiterer Parameter, ein auf einzelne Felder bezogenes Messnetz. Ein schweizweites Messnetz scheint nach aktuellem Wissensstand eher für einen Gesamtüberblick nützlich, als für betriebliche Einzelmassnahmen.

7.9.2.2 Bodenfeuchte- und Bewässerungsprognosen

Um die Bewässerung intelligent zu steuern, wären Bodenfeuchteprognosen ein äusserst hilfreiches Tool. Um eine ausreichende Genauigkeit der Prognose für eine Bewässerungssteuerung zu erlangen, wäre aber wie auch bei den Bodenmessungen, ein auf einzelne Felder angepasste Prognose nötig.

Agroscope stellt auf dem Internet ein Tool zur Verfügung, bei welchem der Bewässerungsbedarf von Obstbäumen berechnet werden kann. Es müssen verschiedene Parameter zur Bodenbeschaffenheit, Kultur und zu durchgeführten Bewässerungsmassnahmen eingegeben werden. Dieser Ansatz beinhaltet aber keine Bodenfeuchtemessdaten und gilt nur für bestimmte Bewässerungstechniken.⁹⁷

7.9.3 Bodenkarten

Der Boden hat bezüglich Anpassung an den Klimawandel eine herausragende Bedeutung. Flächendeckende Bodeninformationen sind deshalb wichtig und relevante Bodenfunktionen wie Speicherfunktionen können modelliert werden. Bodenkarten dienen als wichtige Entscheidungsgrundlagen für eine angepasste Bewirtschaftung an den Klimawandel. In einigen Kantonen werden aktuell die Bodenkarten im Massstab 1:5'000 erarbeitet.

7.10 Infrastruktur

In der Strategie des Bundesrates zur Anpassung an den Klimawandel kommt dem Infrastrukturmanagement eine bedeutende Rolle zu.⁹⁸ Die gemeindeübergreifende Vernetzung von bestehenden Infrastrukturen wird empfohlen, um unabhängige Ressourcen zu nutzen und Engpässe zu minimieren. Andererseits stellt die Vernetzung der Bewässerungsinfrastruktur eine grosse und kostspielige längerfristige Herausforderung dar.^{99, 100}

⁹⁶ Bericht des Bundesrates zum Postulat „Wasser und Landwirtschaft. Zukünftige Herausforderungen Postulat 10.353 von Nationalrat Hansjörg Walter vom 17. Juni 2010, <http://www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/28597.pdf>

⁹⁷ www.agrometeo.ch

⁹⁸ Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz, Aktionsplan 2014-2019, BAFU, 2014

⁹⁹ Strategie Wassernutzung Kanton Luzern, Matthias Rudolf von Rohr, Dienststelle Umwelt und Energie Kanton Luzern, Zwischenbericht 24.08.2015

¹⁰⁰ Grundlagen für die Wasserversorgung 2025, Risiken, Herausforderungen und Empfehlungen, BAFU, 2014

7.11 Forschung

7.11.1 Mikrobiom

Es gibt neuere Forschungen zu Symbiosen von Pflanzen mit Bodenbakterien, welche die Pflanzen weniger anfällig gegen Trockenheit machen. Dadurch können Allianzen mit Bodenbakterien die Erträge der Pflanzen verbessern. Um diese Methodik anzuwenden, bedarf es aber weiterer Untersuchungen.^{101, 102}

7.11.2 Züchtung von trockenresistenten Sorten

Die Züchtung von trockenresistenten Sorten ist sowohl in der Agrarindustrie als auch in der Universitären Forschung ein grosses Thema.^{103, 104, 105}

¹⁰¹ <http://www.pflanzenforschung.de/index.php?cID=5374>

¹⁰² Marasco R. et al. (2012): A Drought Resistance-Promoting Microbiome Is Selected by Root System under Desert Farming. In: PLoS ONE 7(10): e48479, 2012, doi:10.1371/journal.pone.0048479

¹⁰³ http://www.agro.basf.com/agr/AP-Internet/en/content/news_room/our_positions/water

¹⁰⁴ <http://www.iva.de/profil-online/forschung-technik/zuechtung-fuer-den-klimawandel>

¹⁰⁵ http://bavariaaat.kh8.com/cut/index.php?bavaria=bavaria_zucht&ch_nav_eb1=bavaria_zucht

8 Fazit

Das Pilotprojekt Bodenfeuchtemonitoring mit Informationssystem, welches im Rahmen des BAFU-Programms Anpassung an den Klimawandel durchgeführt wurde, hat ein breites Themenfeld mit vielen unterschiedlichen Akteuren und Interessengruppen. Es beinhaltet Pflanzenbau, Messtechnik, Fachbereich Boden und Publikmachung der Resultate. Während der Projektlaufzeit wurde das Projekt angepasst, um den verschiedenen Bedürfnissen besser gerecht zu werden. So wurde auf eine ausführliche Webseite verzichtet, da es sich abzeichnete, dass das Pilotprojekt nach der Laufzeit von drei Jahren nicht weitergeführt wird. Stattdessen wurde eine Bodenfeuchte-Modellierung durchgeführt, um aufzuzeigen, wie mit der Kombination Messung – Modellierung die Bewässerung effizienter betrieben werden könnte.

Mithilfe der drei realisierten Bodenfeuchtemessstationen konnten unterschiedliche Böden und Kulturen während des sehr trockenen Sommers 2015 und während des eher feuchten Sommers 2016 analysiert werden. Im Sommer 2015 herrschte an allen drei Stationen über längere Zeit ein Wasserdefizit, welches bei der Messstation Oberarth am wenigsten stark ausgeprägt war. Dies steht in Übereinstimmung mit den Erwartungen, da dieser Standort klimatologisch bedingt am wenigsten trockengefährdet ist. Interessanterweise war während des Sommers 2015 auch am Standort Triengen (Kirschenplantage) ein erhebliches Wasserdefizit vorhanden, obwohl die Plantage mit Mikrosprinkler bewässert wurde und der Anlagebetreiber Zugang zu den Bodenfeuchte-Messdaten hatte. Gemäss Aussagen des Produzenten ist im Sommer 2015 die Ernte dann auch unterdurchschnittlich ausgefallen. Dies zeigt exemplarisch, dass es einiges an Know-How erfordert, um Plantagenbewässerungen bedarfsgerecht durchzuführen.

Anhand der Bodenfeuchtemodellierungen am Standort Gelfingen (Apfelplantage) konnte beispielhaft aufgezeigt werden, wie Bodenfeuchtemessungen in Kombination mit Modellrechnungen genutzt werden können. Durch eine operationelle Anwendung einer solchen Kombination von Messung und Modellierung liesse sich der aktuelle und zukünftige Bewässerungsbedarf genauer berechnen. Der Vergleich der modellierten mit der gemessenen Feuchte hat aufgezeigt, dass sich das Modell in Kombination mit einer Meteoprognose sehr gut nutzen lässt, um eine Bodenfeuchteprognose zu erstellen. Dabei kommen Anwendungen sowohl in der Landwirtschaft als auch im Bodenschutz in Betracht.

Im Projektantrag wurden verschiedene Projektziele (unten in kursiver Schrift) definiert. An dieser Stelle wird rückblickend analysiert, welche dieser Ziele erfüllt werden konnten und wo Probleme auftauchten:

- a) *Echtzeit-Publikation der Messdaten und Datenarchiv auf einer öffentlichen Webseite mithilfe einer Online-Erfassung von Bodenfeuchte, Saugspannung, Temperatur und Niederschlag in unterschiedlichen klimatischen und landwirtschaftlichen Regionen der Zentralschweiz.*

Die Messdaten der drei realisierten Messstationen werden in Echtzeit auf einfache Art und Weise online publiziert. Auf Antrag der Projektoberleitung wurde darauf verzichtet, eine umfassende öffentliche Webseite mit Datenarchiv zu erstellen. Der Grund dafür war im Wesentlichen die Unklarheit über den weiteren Betrieb der Messstationen nach der dreijährigen Pilotprojektphase. Die detaillierten Messdaten sind in einer inNET-Datenbank archiviert. Zusätzlich werden die Messdaten in Form von Datenfiles zusammen mit dem Schlussbericht auf der ZUDK-Homepage publiziert.

b) *Informationssystem (Ampelsystem) für verschiedene Nutzniesser zum angepassten Umgang mit veränderter Bodenfeuchte*

Es war geplant, dieses Ampelsystem auf einer umfassenden Webseite zu realisieren. Der Entwurf der Webseite mit Informationssystem ist im Anhang 5 angefügt. Aus dem oben im Abschnitt a) aufgeführten Grund wurde dies nicht realisiert.

c) *Verringerung der Ertragseinbussen von Betroffenen*

Dieses Projektziel ist als übergeordnetes Ziel zu verstehen. Im Rahmen des dreijährigen Pilotprojekts können keine gesicherten Aussagen zum Erfolg betreffend Minderung Ertragseinbussen gemacht werden. Das Pilotprojekt vermochte Wege aufzuzeigen, wie mittels Messung und Prognose die Bewässerung optimiert und Fehler bei der Bewässerung verhindert werden können. Es muss an dieser Stelle aber auch festgehalten werden, dass in Trockenjahren die Ertragseinbussen auch bei optimierter Bewässerungstechnik mangels genügend verfügbarem Wasser am richtigen Ort nur bedingt minimiert werden können. Um dieses Problem zu lösen, sind grössere Infrastrukturanpassungen notwendig.

d) *Messtechnische Grundlage zur Validierung von Bodenfeuchtemodellen und Satellitendaten*

Mit dem nun vorhandenen Datensatz an qualitativ hochwertigen Saugspannungs- und Bodenfeuchtemessdaten bei sehr unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen stehen diese Daten nun für weitere Anwendungen zur Verfügung. In Zusammenarbeit mit der Agroscope wurden diese im Projekt dann auch genutzt, um ein Bodenfeuchtemodell zu validieren.

e) *Grundlage für hydrologische und klimatologische Fragenstellungen (Abflussvorhersagen, Klimamodellierung)*

Für Abflussvorhersagen und Klimamodellierung sind Bodenfeuchtedaten entscheidende Inputgrössen.¹⁰⁶ Aufgrund einer geringen Messnetzdichte, einer grossen Anzahl unterschiedlicher und kleiner Messnetze in der Schweiz und gewisser Inhomogenitäten (Datenhaltung und Messparameter) werden die schon erhobenen Daten wenig für solche Anwendungen genutzt. Grundsätzlich wären sie aber verfügbar, siehe auch Punkt d). Eine Datenbank, in welcher alle die in der Schweiz erhobenen Bodenfeuchtemessdaten gesammelt würden, wäre hierfür hilfreich.

¹⁰⁶ <http://www.bafu.admin.ch/wasser/13465/13483/14768/index.html?lang=de>

9 Anhänge

Anhang 1 Fragebogen Landwirtschaftliche Wassernutzung in der Zentralschweiz

Anhang 2 Standortdokumentation Gelfingen

Anhang 3 Standortdokumentation Triengen

Anhang 4 Standortdokumentation Oberarth

Anhang 5 Konzept der Homepage

Fragebogen

Landwirtschaftliche Wassernutzung in der Zentralschweiz

Allgemeine Angaben über Sie und Ihren Betrieb*

Mein Betrieb: (Mehrere Antworten möglich)

☐ Milchproduktion

☐ Fleischproduktion

☐ Ackerbau Wichtigste Kulturen: _____

☐ Obst Wichtigste Kulturen: _____

☐ Beeren Wichtigste Kulturen: _____

☐ Gemüse Wichtigste Kulturen: _____

☐ Weitere Kulturen Welche?: _____

Betriebsgrösse (Hektaren LN): _____

Kanton: ☐ LU ☐ UR ☐ SZ ☐ OW ☐ NW ☐ ZG

Mein Alter:

☐ 18 – 30 ☐ 31 – 40 ☐ 41 – 50 ☐ 51 – 60 ☐ 60+

* Alle Angaben werden anonym behandelt. Sie dienen lediglich zu statistischen Auswertungszwecken.

Wassernutzung früher und heute

1a. Waren Sie in der Vergangenheit schon einmal von Trockenheit betroffen?

JA NEIN
☐ ☐

1b. Haben Sie Flächen, die mehr zu Trockenheit neigen als andere?

JA NEIN
☐ ☐

Wenn ja, wo liegen diese? (Mehrere Antworten möglich)

- ☐ Südexponiert
- ☐ In Hanglage / an einem Hang
- ☐ Auf einer Hangkuppe
- ☐ Auf bestimmten Böden Bodenart: _____
- ☐ An einem Gewässer
- ☐ Anderes Was?: _____

1c. Treffen Sie bereits heute Massnahmen um Trockenheit und einem damit verbundenen Ertragsausfall entgegen zu wirken?

JA NEIN
☐ ☐

Wenn ja, welche? (Mehrere Antworten möglich)

- ☐ Trockenheitsresistente Kultur anpflanzen
- ☐ Feuchte Standorte für trockenheitsgefährdete Kulturen wählen
- ☐ Bodenbearbeitung anpassen (Mulchen, Direktsaat etc.)
- ☐ Bewässern
- ☐ Andere Massnahmen Welche? _____

1d. Haben Sie auf Ihrem Betrieb Flächen / Kulturen, welche sie schon einmal bewässert haben?

JA NEIN (Wenn Nein, gehen Sie weiter zur Frage 2a.)

☐ ☐

Wenn ja, wieso? (Mehrere Antworten möglich)

- ☐ Fläche neigt zu Trockenheit.
- ☐ Eine bestimmte Kultur ist nicht resistent gegen Trockenheit.
- ☐ Anderes Was? _____

1e. Haben Sie Kulturen, welche Sie regelmässig bewässern oder bewässert haben?

JA NEIN

☐ ☐

Wenn ja, welche? (Mehrere Antworten möglich)

- ☐ Kartoffeln
- ☐ Zuckerrüben
- ☐ Obst
- Welche?: _____
- ☐ Beeren
- Welche?: _____
- ☐ Gemüse
- Welche?: _____
- ☐ Getreide, Mais, Raps
- Welche?: _____
- ☐ Kunstwiese / Dauergrünland
- ☐ Anderes Was?: _____

1f. Wenn Sie bewässern, wie oft / regelmässig machen Sie das? (Mehrere Antworten möglich)

- ☐ Nur bei akuter Trockenheit / Nur in Trockenjahren
- ☐ Jedes Jahr. In welchen Monaten?: _____
- ☐ Anderes: Was?: _____

Während der Bewässerungsperiode bewässern Sie:

- ☐ Wöchentlich
- ☐ Täglich
- ☐ Anderes: _____

Wie bestimmen Sie die notwendige Bewässerungsmenge / Wassergabe:

- ☐ Mittels Bodenfeuchtemessung (Tensiometer o. ä.)
- ☐ Durch manuelle Beurteilung des Bodens (Fühlprobe, optisch)
- ☐ Mittels berechnetem Wasserbedarf (Beispielsweise von
www.agrometeo.ch)
- ☐ Anderes: _____

Welches ist Ihre Bewässerungsmenge pro Jahr in m³?

Durchschnittlich über letzte 5 Jahre: _____ ☐ Unbekannt

Im Jahr 2003: _____ ☐ Unbekannt

Im Jahr 2015: _____ ☐ Unbekannt

1g. Woher stammt das Wasser, welches Sie für die Bewässerung benutzen? (Mehrere Antworten möglich)

- ☐ Quelle
- ☐ Fluss (Reuss, Linth, Suhre, Lorze, Sarneraa, etc.)
- ☐ Kleingewässer (Bäche, Tümpel, Weiher)
- ☐ Grundwasser, Sodbrunnen
- ☐ Öffentliche Wasserversorgung (Leitungswasser, Hydrant)
- ☐ Eigener Regenwassersammler / -Tank
- ☐ Anderes Was?: _____

1h. Wie / mit welcher Methode / Maschine bewässern Sie Ihre Fläche(n)? (Mehrere Antworten möglich)

- ☐ Reihenregner
- ☐ Schleusen und Kanäle (z.B. Wässermatten)
- ☐ Mikrobewässerung (Tröpfchenbewässerung)
- ☐ Mobile Bewässerungsmaschine
- ☐ Stationäre / fixe Bewässerungsmaschine
- ☐ Anderes Was?: _____

Wassernutzung in der Zukunft

2a. Hat der Klimawandel Ihrer Meinung nach Auswirkungen auf die Landwirtschaft in der Zentralschweiz während des Sommers?

JA NEIN

☐ ☐

Wenn ja, wie schätzen Sie diese ein? (Mehrere Antworten möglich)

- ☐ Es wird trockener. Das Wasser wird knapper werden.
- ☐ Es wird nasser. Überschwemmungen werden unsere Ernte gefährden.
- ☐ Extremereignisse wie z. B. Starkniederschläge und Hagel werden zunehmen.
- ☐ Anderes Was?: _____

Stellen Sie sich vor, dass sich das Klima im Sommer verändert und dies in der Zentralschweiz häufiger zu Trockenjahren und zu weniger Niederschlag führt.

2b. Welche Massnahmen würden Sie zur Verhinderung von Ertragsausfall aufgrund von Trockenheit ergreifen? (Bitte nur ein Kreuz pro Zeile)

	keine Option	wenig	mittel	sehr wahrscheinlich
Bewässern Herkunft Wasser + Methode? (Siehe Fragen 1g. & 1h.) : _____	☐	☐	☐	☐
Wasserspeicher anlegen (z.B. Tanks, Teiche)	☐	☐	☐	☐
Trockenresistente Sorten wählen, Fruchtfolge/ Anbauzeitpunkt anpassen.	☐	☐	☐	☐
Andere Kulturen anbauen Welche?: _____	☐	☐	☐	☐
Wassersparende Bodenbearbeitung anwenden, z.B. Direktsaat oder Mulchen Welche?: _____	☐	☐	☐	☐
Trockene Flächen anders nutzen (Anpassung des Produktionsgebiets). Wie?: _____	☐	☐	☐	☐
Anderes. Was?: _____	☐	☐	☐	☐

2c. Wie stark würden folgende Punkte Ihre Entscheidung so beeinflussen, dass Sie beginnen würden Ihre Flächen zu bewässern: (Bitte nur ein Kreuz pro Zeile)

	<u>gar nicht</u>	<u>ein wenig</u>	<u>stark</u>	<u>ausschlaggebend</u>
Mein Berater (z. B. kantonale Beratungsdienste) empfiehlt mir die Bewässerung meiner Flächen:	☐	☐	☐	☐
Die Agrarpolitik unterstützt den Einsatz effizienter Bewässerungstechniken:	☐	☐	☐	☐
Meine Ernte geht aufgrund der Trockenheit stark zurück:	☐	☐	☐	☐
Meine Nachbarn / Verwandten bewässern ihre Felder:	☐	☐	☐	☐
Meine bewässerten Produkte haben einen höheren Marktwert als die restlichen meiner Produkte:	☐	☐	☐	☐
Meine Felder werden braun und sehen nicht mehr schön aus:	☐	☐	☐	☐
Weitere Gründe: Welche?: _____ _____	☐	☐	☐	☐

2d. Bei Trockenheit: Wie gross beurteilen Sie die Konfliktbereiche mit anderen Wassernutzern?
(Bitte nur ein Kreuz pro Zeile: 0 = kein Konflikt, 1 = klein, 2 = mittel, 3 = grosser Konfliktbereich)

0	1	2	3		Warum?
☐	☐	☐	☐	Mit anderen Landwirten	_____
☐	☐	☐	☐	Mit dem Forst, Waldbesitzern	_____
☐	☐	☐	☐	Mit dem Naturschutz	_____
☐	☐	☐	☐	Mit dem Tourismus	_____
☐	☐	☐	☐	Mit dem Gewässerschutz / Fischerei	_____
☐	☐	☐	☐	Mit Wasserkraft (Energiegewinnung)	_____
☐	☐	☐	☐	Anderes: Mit wem?	_____

Weitere Fragen / Bemerkungen

3a. Haben Sie noch weitere Bemerkungen zum Thema Wassernutzung / Bewässerung in der Zentralschweiz?

Alle Angaben in diesem Kasten sind freiwillig

☐ Ich möchte über die Ergebnisse dieser Studie informiert werden und stelle dazu meine E-Mail Adresse als Kontaktmöglichkeit zur Verfügung.

Name, Vorname:

E-Mail:

STANDORTDOKUMENTATION

BODENFEUCHTE-MESSSTATION GELFINGEN



Version: 28.12.2016

Autor: Cornelia Knellwolf-Keiser, inNET Monitoring AG

Ein Projekt im Rahmen des Pilotprogramms zur Anpassung an den Klimawandel, gefördert durch das Bundesamt für Umwelt BAFU und die Zentralschweizer Umweltdirektionen (ZUDK).

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	- 2 -
1.1	Projekt	- 2 -
1.2	Zusammenfassung.....	- 2 -
1.3	Situation vor Ort.....	- 2 -
1.4	Bodenuntersuchungen	- 3 -
2	Standort.....	- 3 -
2.1	Situation und Vegetation	- 3 -
2.2	Geologie / Ausgangsmaterial	- 4 -
2.3	Topographie	- 5 -
2.4	Klimaeignungszone.....	- 5 -
2.5	Niederschläge und Temperatur.....	- 5 -
2.6	Grundwasser	- 6 -
3	Boden	- 6 -
3.1	Bodenbeschrieb.....	- 6 -
3.2	Bodenkennwerte	- 6 -
3.3	Desorptionskurven	- 7 -
3.4	Landwirtschaftliche Nutzungseignung	- 8 -
3.5	Trockenheitsrisiko des Standortes	- 8 -
4	Messtechnische Einrichtung und Modellierung.....	- 8 -
4.1	Messtechnik	- 8 -
5	Anhang Bodenprofil Gelfingen	- 10 -

1 Einleitung

1.1 Projekt

In Gelfingen LU wurde am 26. November 2014 eine Bodenfeuchtemessstation errichtet. Es ist die erste Bodenfeuchtemessstation innerhalb des Projektes „Bodenfeuchtemonitoring mit Informationssystem“ von der ZUDK (Zentralschweizer Umweltdirektionen). Gemäss Klimaszenarien wird die Bodenfeuchte im Sommerhalbjahr künftig abnehmen. Dies hat nachteilige Folgen für die Fruchtbarkeit der Böden. Im Rahmen des BAFU-Pilotprogramms „Anpassung an den Klimawandel“ wird ein Messnetz zur Erfassung der Bodenfeuchte aufgebaut und betrieben. Die Messwerte und Empfehlungen für eine angepasste Bewirtschaftung werden auf einer Internetplattform publiziert. Sie sollen dazu beitragen, Ertragseinbussen in der Landwirtschaft zu minimieren. Im Bericht sind die Standort- und Bodenverhältnisse der Bodenfeuchtemessstation Gelfingen beschrieben. Ebenfalls wird die verwendete Messtechnik erläutert.

1.2 Zusammenfassung

Station	Gelfingen (Gemeinde Hitzkirch LU)
Eigentümer	Hans Fischer
Höhe	500 m ü. M.
Koordinaten	2'663'483 / 1'228'518
Kultur	Äpfel (Sorte Diwa)
Bewässerung	Nein
Boden	steinhaltige bis steinreiche, lehmige bis sandig lehmige, normal durchlässige, ziemlich flachgründige, gleichmässig geneigte Kalkbraunerde, neutraler pH-Wert 7
Geologie	Mörane
Grundwasser	Kein Grundwasser
Klimaeignungszone	A4, Futterbau mit hohen Erträgen begünstigt
Meteo	Klimastation der Agrometeo in Gelfingen
Niederschlag	1103 mm (Jahresdurchschnitt)
Temperatur	9.6°C (Jahresdurchschnitt)

1.3 Situation vor Ort

Der Standort für die Bodenmessstation liegt in einer Apfelplantage von Hans Fischer in Gelfingen (LU). Die Plantage wird im Gegensatz zur Nachbarsparzelle nicht bewässert. Der Ertrag liegt gemäss Aussagen von Hans Fischer im gleichen Rahmen. Auf der Nachbarsparzelle befindet sich die Klimastation Gelfingen der Agrometeo, bei der Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Niederschlag und Globalstrahlung gemessen werden.

1.4 Bodenuntersuchungen

Für die Installation der Bodenfeuchtemesssonden wurde ein Graben mit 1 m Breite und 75 cm Tiefe ausgehoben. Vor der Installation der Messsonden wurde das Bodenprofil bodenkundlich aufgenommen und die Proben für die Labor-Analysen entnommen.

In 3 Bodenhorizonten wurden für die Körnungs-Analyse gestörte Proben genommen. In ebenfalls 3 Bodenhorizonten wurden für die Bestimmung des Porenvolumens, der Porengrössenverteilung und der Lagerungsdichte ungestörte Proben entnommen. Die Bodenproben wurden durch das Labor AgroLab Swiss GmbH in Root analysiert.

2 Standort

2.1 Situation und Vegetation

Die Bodenfeuchtemessstation befindet sich im Luzerner Seetal in Gelfingen (Gemeinde Hitzkirch) zwischen dem Baldeggersee und dem Lindenberg.

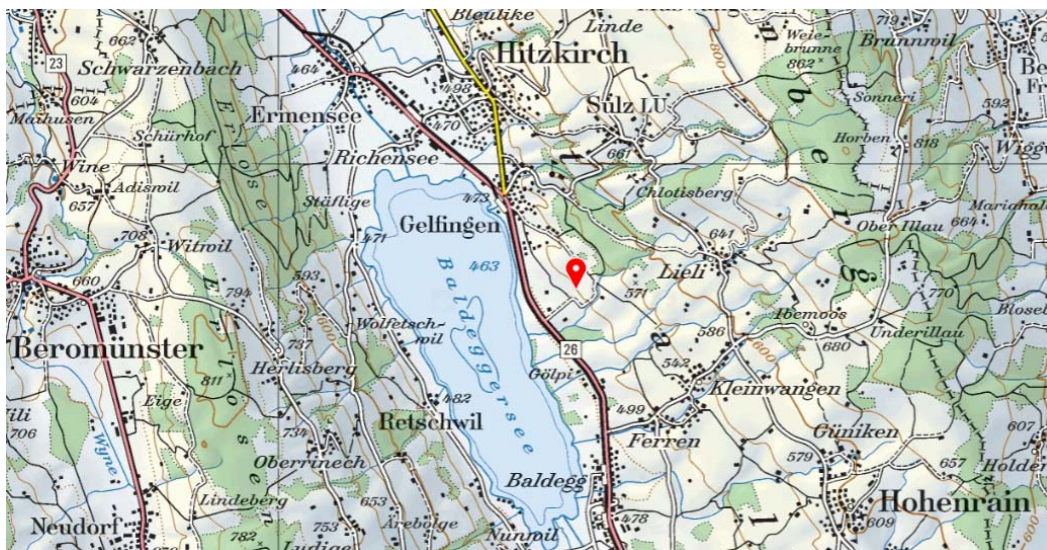


Abbildung 1: Situation der Bodenfeuchtemessstation in Gelfingen¹

¹ <http://www.geo.admin.ch/>, 20.02.2015

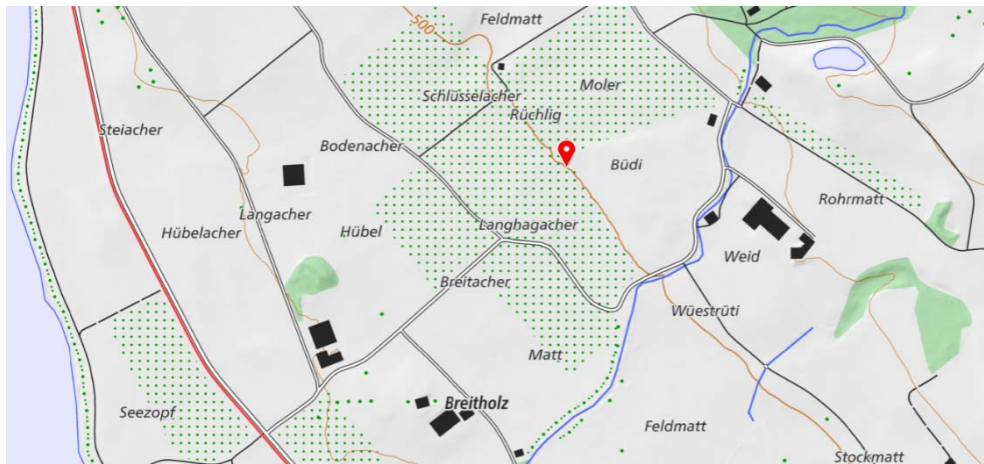


Abbildung 2: Lage der Bodenfeuchtemessstation Gelfingen1

Die Bodenfeuchtemessstation befindet sich in einem Obstbaugbiet. Sie liegt mitten in einer Apfelplantage. Bei den Äpfeln handelt es sich um die Sorte Diwa. Die Bäume sind im 6.Standjahr und geben den vollen Ertrag.

Optimal für das Wachstum von Apfelbäumen ist ein feuchter, aber wasserdurchlässiger Boden, am besten humusreich und leicht sauer. Apfelbäume sind empfindlich gegenüber Staunässe. Der Apfelbaum ist ein Flachwurzler und daher empfindlich gegen länger anhaltende Trockenheit.²

2.2 Geologie / Ausgangsmaterial

Das Ausgangsmaterial ist eine Moräne der Würm-Eiszeit. Die Landschaft ist von Drumlins (kleinen rundlichen Erhöhungen) geprägt und der Standort liegt neben dem Moränenwall des Lindenberges.

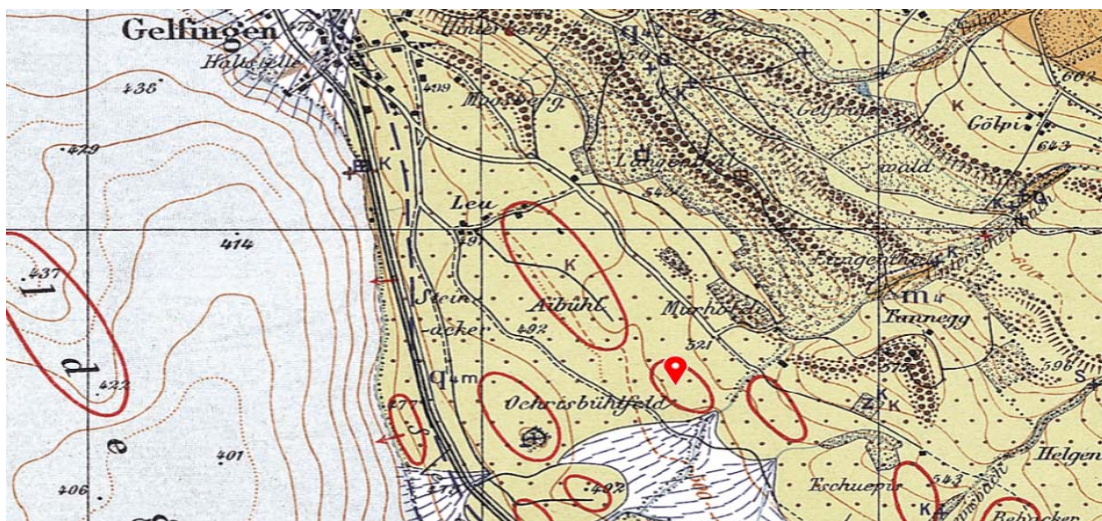


Abbildung 3: Geologischer Atlas der Schweiz³ (rot umrandet: Drumlin, gepunktete Linie: Moränenwall, hellbraun: Moräne)

² <http://www.gartendatenbank.de>

³ <http://www.geo.admin.ch/>, 20.03.2015

2.3 Topographie

Die Bodenfeuchtemessstation befindet sich am Hangfuss des Lindenberges oberhalb des Baldeggersees. Sie liegt auf einer Höhe von etwa 500 m ü. M. und ist nach Südwesten ausgerichtet.

2.4 Klimaeignungszone

In der Klimaeignungskarte der Schweiz⁴ ist das Luzerner Seetal der Klimaeignungszone A4, in den erhöhten Lagen der Klimaeignungszone B4 zugeordnet. Das Klima im Bereich der Bodenmessstation ist im Übergangsbereich zwischen A4 und B4.

Der Futterbau mit hohen Erträgen ist in der Klimaeignungszone A4 begünstigt. Ebenfalls gut geeignet ist Zwischenfruchtbau. Der Ackerbau kann häufig durch nasses Klima beeinträchtigt werden. Spezialkulturen (darunter auch Obstbau) können in den dafür geeigneten Böden und Lagen betrieben werden.

Die Klimaeignungszone B4 zeichnet sich durch geringere Ertragshöhe und -Sicherheit, beschränkere Arten- und Sortenwahl als in A4 aus⁵.

2.5 Niederschläge und Temperatur

Von 2004 bis 2014 betrugen in Gelfingen (Meteostation 541 m ü. M.) die durchschnittlichen jährlichen Niederschläge 1'103 mm. Die Durchschnittstemperatur lag bei 9.6 °C.

Monat	Temperatur [°C]	Niederschlag [mm]
Januar	0.7	47
Februar	0.9	89
März	4.8	54
April	9.8	81
Mai	13.6	118
Juni	17.3	124
Juli	18.9	148
August	17.9	136
September	14.8	85
Oktober	10.5	89
November	4.7	59
Dezember	1.2	72
Jahr	9.6	1'103

Tabelle 1: Für die Berechnung der Monatsmittel wurden die Agrometeo-Daten der Station Gelfingen über den Zeitraum von 2004 bis 2014 verwendet (Für die Berechnung der Januarwerte für den Niederschlag wurden die Daten ab Februar 2004 bis Januar 2014 verwendet, da die Januardaten 2004 fehlerhaft waren).

⁴ Klimaeignungskarte der Schweiz, map.geo.admin.ch, <http://www.blw.admin.ch/dienstleistungen/00334/00336/index.html?lang=de>

⁵ Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau FAL Zürich-Reckenholz (1997): Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden. Schriftenreihe 24.

2.6 Grundwasser

Bei der Bodenmessstation ist kein Grundwasser vorhanden⁶.

3 Boden

3.1 Bodenbeschreibung

Der Boden wurde bodenkundlich nach der FAL-Methode „Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden“ aufgenommen. Beim Boden handelt es sich um eine steinhaltige bis steinreiche, lehmige bis sandig lehmige, normal durchlässige, ziemlich flachgründige, gleichmässig geneigte Kalkbraunerde (siehe Bodenprofil im Anhang). Die Bodenschichten haben sich aus dem Moränenmaterial gebildet, welches sehr steinreich ist.

Der Boden ist repräsentativ für die Böden der Moränenlandschaften im Luzerner See- und Surental.

3.2 Bodenkennwerte

Die meisten Bodenkennwerte werden in den 2 Bodenhorizonten A (Oberboden) und B (Unterboden) und dem Ausgangshorizont C dargestellt. Die Werte des C-Horizontes dienen als Vergleich zu den Bodenhorizonten.

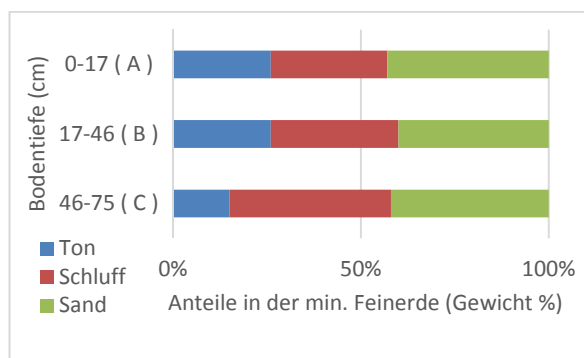


Abbildung 4: Bodenart: Lehm über sandigem Lehm (C-Horizont)

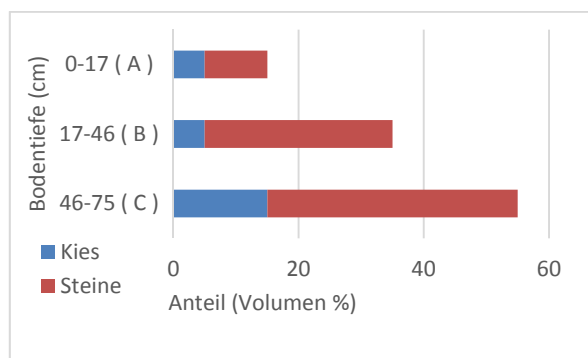


Abbildung 5: Skelettanteil: steinhaltig über steinreich

Bei der Bodenart handelt es sich aufgrund des hohen Tongehaltes um einen Lehm. Lehme sind sehr fruchtbare Böden. Durch den Tongehalt kann gut Wasser gespeichert werden. Gleichzeitig ist dieser Lehm durch den relativ hohen Sandgehalt aber auch ein nicht allzu schwerer Boden.

Der hohe Skelettanteil von 20 % im Ober- und 45 % im Unterboden ergibt eine Beeinträchtigung in der Bodenbearbeitung und in den Durchwurzelungsmöglichkeiten der Pflanzen. Durch den hohen Skelettanteil ist der Boden und die Porenverteilung sehr inhomogen. Dadurch können Messunterschiede bei Sonden in den gleichen Messtiefen entstehen.

⁶ Gewässerschutzkarte des Kantons Luzern, <http://www.geo.lu.ch/map/gewaesserschutz/>, 09.04.2015)

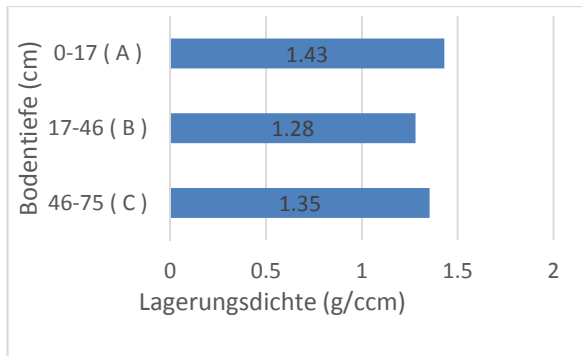


Abbildung 6: Lagerungsdichte: verdichteter Oberboden über mitteldichtem Unterboden

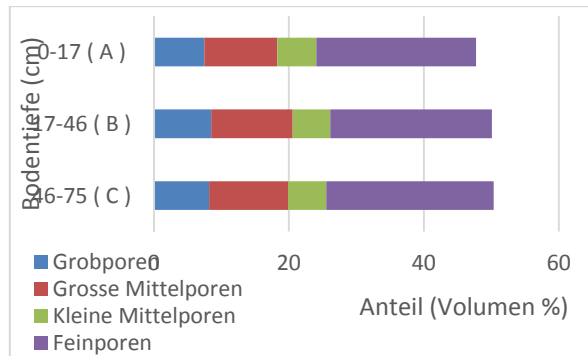


Abbildung 7: Porengrößenverteilung

Der untersuchte Boden besitzt ein Porenvolumen von 49 %. Davon sind 2 % Grobporen, 18 % grosse Mittelporen, 5 % kleine Mittelporen und 24 % Feinporen.

Das in den Mittelporen enthaltene Wasser ist pflanzenverfügbar. In unserem Fall ist das etwa 17 % des Gesamtvolumens im Boden. Bei einer Bodentiefe von 44 cm bedeutet das, dass der Boden maximal 80 mm pflanzenverfügbares Wasser speichern kann.

Die Evapotranspiration von einem Obstgarten ist von verschiedenen Faktoren abhängig, so von der Sonneneinstrahlung, der Bodenbedeckung, dem Fortschritt der Blüte. In unserem Fall kann man von einer Evapotranspiration zwischen 2 und 8 mm pro Tag ausgehen. Das heisst, dass ein voll aufgefülltes Porensystem im Sommer für mindestens 10 Tage lang reicht.

3.3 Desorptionskurven

Die Beziehung des Bodenwassergehaltes zu der Saugspannung ist abhängig von der Porenverteilung im Boden. Da für die Modellierung der Bodenwassergehalt, für die Bewässerung aber die Saugspannung benötigt wird, wurden die Parameter zur Erstellung der Desorptionskurve, welche diese Beziehung darstellt, im Labor bestimmt.

Das Wasser in den Mittelporen ist pflanzenverfügbar. Wasser, welches stärker an die Bodenmatrix gebunden ist (in den Feinporen) oder das durch die Schwerkraft 2-3 Tage nach Wassersättigung des Bodens entwässert wird, ist nicht verwertbar für die Pflanzen.

Die Desorptionskurve wurde in den drei Tiefen 20 cm, 35 cm und 60 cm bestimmt.

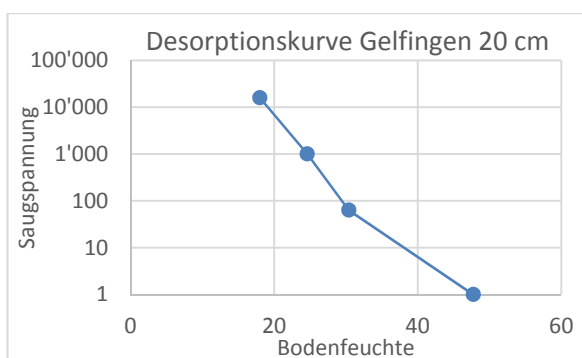


Abbildung 8: Desorptionskurve in 20 cm Tiefe

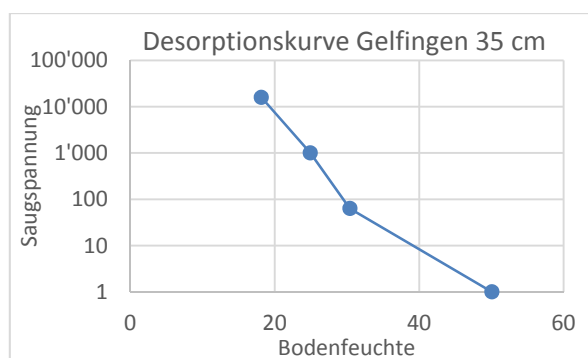


Abbildung 9: Desorptionskurve in 35 cm Tiefe

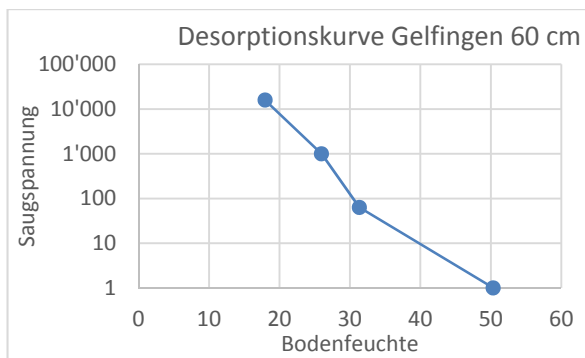


Abbildung 10: Desorptionskurve in 60 cm Tiefe

3.4 Landwirtschaftliche Nutzungseignung

Der Standort der Bodenfeuchtemessstation wird aufgrund seiner Boden- und Standorteigenschaften der landwirtschaftlichen Nutzungseignungsklasse 4 zugewiesen. Der limitierende Faktor ist dabei die geringe Bodengründigkeit von 44 cm, welche sich durch den hohen Skelettanteil im Boden ergibt. Die landwirtschaftliche Nutzungseignungsklasse 4 wird durch eine getreidebetonte Fruchtfolge 2. Güte charakterisiert. Die Standorte in dieser Klasse eignen sich für den Getreideanbau. Mangels Ertragssicherheit (Sommertrockenheit) und/oder wegen zu grossem Aufwand bei der Bodenbearbeitung und bei den Bestell- und Erntearbeiten eignen sich die Böden in dieser Klasse nicht für einen vielseitigen Ackerbau.

3.5 Trockenheitsrisiko des Standortes

Durch die geringe pflanzennutzbare Gründigkeit des Bodens von 44 cm kann der Boden in Trockenperioden eventuell nicht genügend Wasser speichern. Da der Boden sehr inhomogen ist, kann das Trockenheitsrisiko innerhalb der Plantage variieren.

Der Standort selbst ist in einem Gebiet mit regelmässigem Niederschlag.

4 Messtechnische Einrichtung und Modellierung

4.1 Messtechnik

Die Messstation ist mit Tensiometern (UMS-T8) und Bodenfeuchtesensoren (TRIME-TDR-Pico64) ausgerüstet. Es wird in den 3 Messtiefen 20 cm, 35 cm und 60 cm gemessen. Zur Sicherstellung der Messwerte sind pro Tiefe immer 2 Tensiometer und 2 Bodenfeuchtesensoren installiert.

Die Tensiometer und die Bodenfeuchtesensoren messen beide die Bodenfeuchte. Die Tensiometer messen die Saugspannung des Bodens in cbar. Die Saugspannung beschreibt die Kraft, mit der die Pflanzen dem Boden das Wasser entziehen. Je grösser der Saugspannungswert, desto trockener der

Boden. Die Bodenfeuchtesensoren messen das enthaltene Wasser im Boden in Volumenprozent. Der Boden ist umso feuchter, je höher der Wert ist.

Die Messstation muss 3-4 mal im Jahr gewartet werden. Zur Vermeidung von Frostschäden werden die Tensiometer über den Winter aus dem Boden ausgebaut.

Die Angaben zur Saugspannung sind nötig für die Bewässerung. Die Angaben der Bodenfeuchte sind für die Modellierung des Feuchtegehaltes des Bodens notwendig.

Da sich auf der Nachbarsparzelle eine Meteostation von Agrometeo befindet, wurde auf eine eigene Meteostation bei der Bodenfeuchtemessstation verzichtet. Die benötigten Daten können ab der Homepage www.agrometeo.ch bezogen werden und werden zusätzlich seit Messbeginn in der inNET Datenbank archiviert.

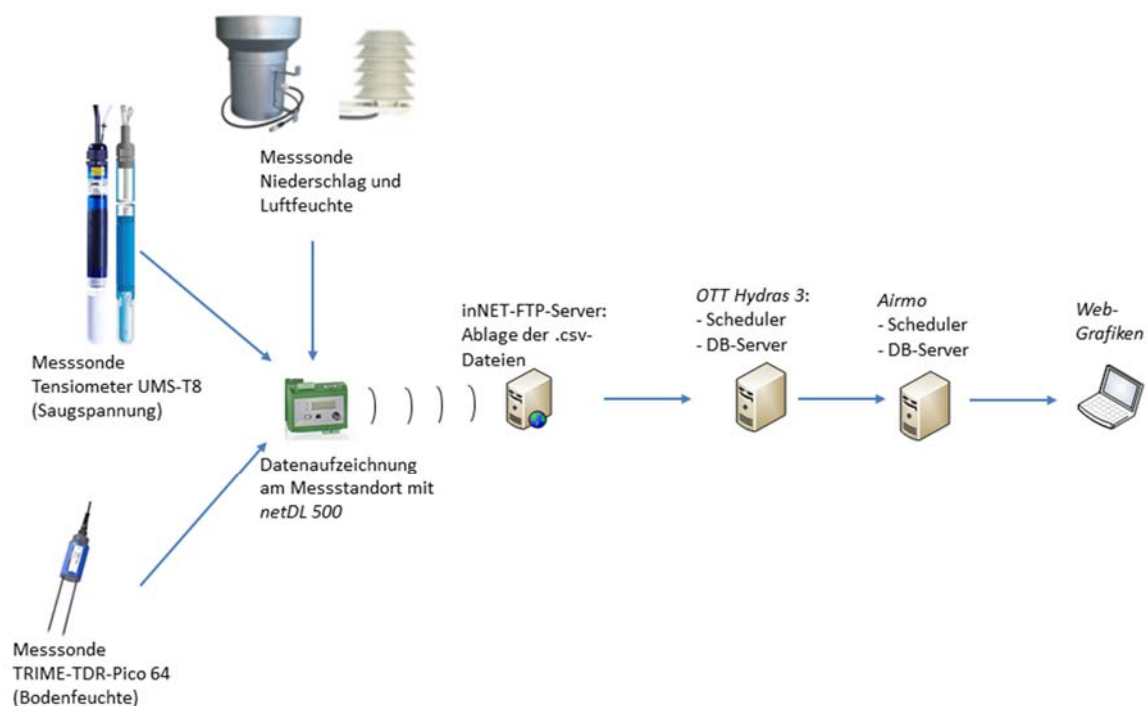


Abbildung 11: Schematische Darstellung Messeinrichtungen und Datenkommunikation

Die Messdaten werden via Datenlogger auf einen ftp-Server übertragen. Von dort aus können die Daten geholt und weiterverwendet werden.

5 Anhang Bodenprofil Gelfingen

STANDORTDOKUMENTATION

BODENFEUCHTE-MESSSTATION TRIENGEN



Version: 28.12.2016

Autor: Cornelia Knellwolf-Keiser, inNET Monitoring AG

Ein Projekt im Rahmen des Pilotprogramms zur Anpassung an den Klimawandel, gefördert durch das Bundesamt für Umwelt BAFU und die Zentralschweizer Umweltdirektionen (ZUDK).

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	- 2 -
1.1	Projekt	- 2 -
1.2	Zusammenfassung.....	- 2 -
1.3	Situation vor Ort.....	- 2 -
1.4	Bodenuntersuchungen	- 3 -
2	Standort.....	- 3 -
2.1	Situation und Vegetation	- 3 -
2.2	Geologie / Ausgangsmaterial	- 4 -
2.3	Topographie	- 5 -
2.4	Klimaeignungszone.....	- 5 -
2.5	Niederschläge und Temperatur.....	- 5 -
2.6	Grundwasser	- 6 -
3	Boden	- 6 -
3.1	Bodenbeschrieb.....	- 6 -
3.2	Bodenkennwerte	- 6 -
3.3	Desorptionskurven	- 7 -
3.4	Landwirtschaftliche Nutzungseignung	- 8 -
3.5	Trockenheitsrisiko des Standortes	- 8 -
4	Messtechnische Einrichtung und Modellierung.....	- 9 -
4.1	Messtechnik	- 9 -
5	Anhang: Bodenprofil Triengen	- 10 -

1 Einleitung

1.1 Projekt

In Willihof, Gemeinde Triengen, LU wurde am 11. Mai 2015 eine Bodenfeuchtemessstation errichtet. Es ist die zweite Bodenmessstation innerhalb des Projektes „Bodenfeuchtemonitoring mit Informationssystem“ von der ZUDK (Zentralschweizer Umweltdirektionen). Die erste Station wurde im November 2014 in Gelfingen LU errichtet. Gemäss Klimaszenarien wird die Bodenfeuchte im Sommerhalbjahr künftig abnehmen. Dies hat nachteilige Folgen für die Fruchtbarkeit der Böden. Im Rahmen des BAFU-Pilot-Programms „Anpassung an den Klimawandel“ wird ein Messnetz zur Erfassung der Bodenfeuchte aufgebaut und betrieben. Die Messwerte und Empfehlungen für eine angepasste Bewirtschaftung werden auf einer Internetplattform publiziert. Sie sollen dazu beitragen, Ertragseinbussen in der Landwirtschaft zu minimieren. Im Bericht sind die Standort- und Bodenverhältnisse der Station beschrieben. Ebenfalls wird die verwendete Messtechnik erläutert.

1.2 Zusammenfassung

Station	Willihof (Gemeinde Triengen LU)
Eigentümer	Peter Kaufmann
Höhe	521 m ü. M.
Koordinaten	2'647'130 / 1'230'614
Kultur	Kirschen (Sorte Kordia) im 4.Standjahr
Bewässerung	Ja
Boden	stark gleyiger, skelettarmer bis schwach skeletthaltiger, sandig lehmiger, grund- oder hangwassergeprägter, selten bis zur Oberfläche porengesättigter, ziemlich flachgründiger, gleichmässig geneigter Braunerde-Gley, neutraler pH-Wert 6.7
Geologie	Mörane
Grundwasser	Gewässerschutzbereich Au, 50m von Grundwasserschutzareal Chlifeld/Riedmatt entfernt
Klimaeignungszone	B4, Futterbau
Meteo	Eigene Meteostation bei der Bodenmessstation
Niederschlag	1211 mm (Jahresdurchschnitt)
Temperatur	10.0°C (Jahresdurchschnitt)

1.3 Situation vor Ort

Der Standort für die Bodenmessstation liegt in einer Kirschbaumplantage von Peter Kaufmann in Willihof (LU). Die Plantage wird mit einer Tropfbewässerung bewässert. Das Wasser wird von einer eigenen Grundwasserpumpe (in 5 m Tiefe) gefördert. Die Bewässerung ist manuell gesteuert. Sobald die Früchte reifen, werden die Kirschbäume abgedeckt, um sie vor Schäden durch den Niederschlag zu schützen. Die nächste Agrometeo-Station liegt in Oberkirch. Um genaue Werte vor Ort zu haben,

wurde im Rahmen der Installation der Bodenfeuchtemessstation zusätzlich eine Klimastation eingebaut.

1.4 Bodenuntersuchungen

Für die Installation der Bodenfeuchtemesssonden wurde ein Graben mit 1 m Breite und 80 cm Tiefe ausgehoben. Vor der Installation der Messsonden wurde das Bodenprofil bodenkundlich aufgenommen und die Proben für die Labor-Analysen entnommen.

In 3 Bodenhorizonten wurden für die Körnungs-Analyse gestörte Proben genommen. In ebenfalls 3 Bodenhorizonten wurden für die Bestimmung des Porenvolumens, der Porengrössenverteilung und der Lagerungsdichte ungestörte Proben entnommen. Die Bodenproben wurden durch das Labor AgroLab Swiss GmbH in Root analysiert.

2 Standort

2.1 Situation und Vegetation

Die Bodenmessstation befindet sich im Luzerner Suralental in Wilihof (Gemeinde Triengen). Die Bodenfeuchtestation befindet sich in einem Obstbaugelbiet.



Abbildung 1: Situation der Bodenfeuchtemessstation in Wilihof¹

¹ <http://www.geo.admin.ch/>, 09.04.2015

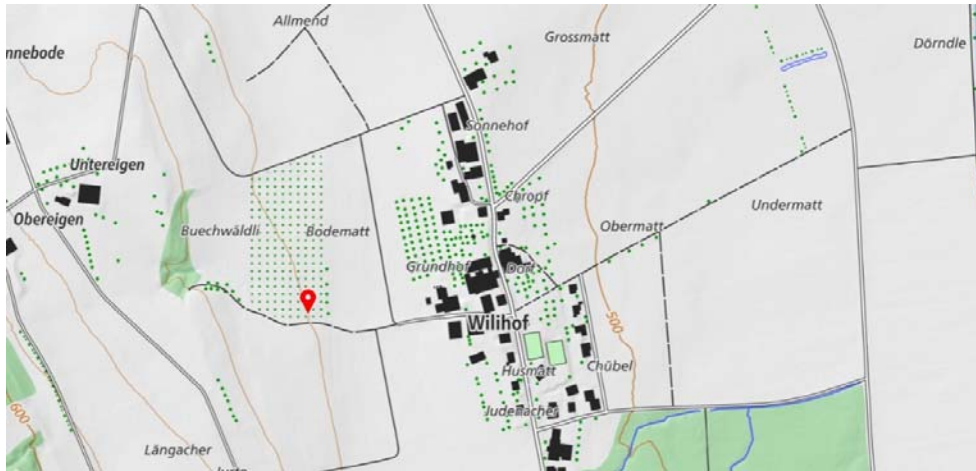


Abbildung 2: Lage der Bodenfeuchtemessstation in Wilihof¹

Sie liegt mitten in einer Kirschbaumplantage. Bei den Kirschbäumen handelt es sich um die Sorte Kordia. Die Bäume sind im 4. Standjahr und liefern noch nicht den vollen Ertrag.

Kirschbäume wachsen besonders gut an sonnigen Standorten, reagieren aber empfindlich auf Trockenheit. Kirschen sind Flachwurzler und längere Trockenperioden wirken sich daher negativ auf Fruchtgröße und Wachstum aus².

2.2 Geologie / Ausgangsmaterial

Das Ausgangsmaterial ist eine Moräne der Würm-Eiszeit (Kirchleerau-Moräne).

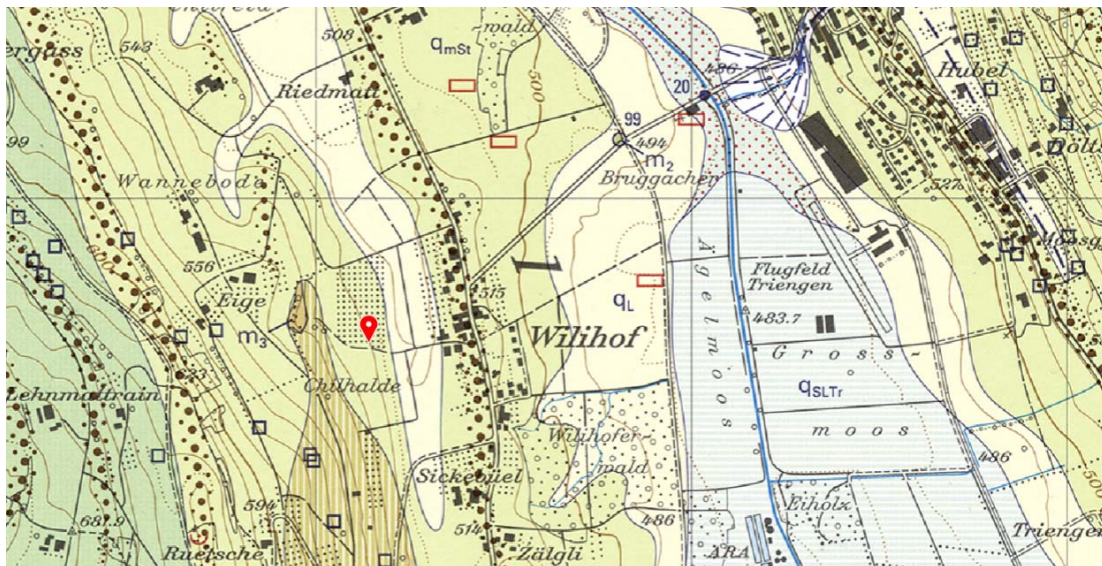


Abbildung 3: Geologischer Atlas der Schweiz³ (hellbraun: Schwemmlehm, grün: Moräne, blau: Seesedimente)

² Gamper et al. 2013, Schwizer 2013

³ <http://www.geo.admin.ch/>, 09.04.2015

2.3 Topographie

Die Bodenfeuchtemessstation befindet sich am Hangfuss des Chrüzberges in einem etwa 15 % geneigten Hang. Sie liegt auf einer Höhe von etwa 520 m ü. M. und ist nach Osten ausgerichtet.

2.4 Klimaeignungszone

In der Klimaeignungskarte der Schweiz ist das Luzerner Surental der Klimaeignungszone B4, auf den Moränenhügeln der Klimaeignungszone C1-4 zugeordnet. Das Klima im Bereich der Bodenmessstation liegt in der Klimaeignungszone B4.

Die Klimaeignungszone B4 zeichnet sich durch gute Bedingungen für den Futterbau und den Zwischenfruchtbau aus. Es kann häufig zu Ernteschwierigkeiten wegen ungenügender Trockenheit kommen. Für den Ackerbau sind die Bedingungen wenig günstig, besonders der Getreideanbau ist wegen der vielen Regentage nicht geeignet. Spezialkulturen, die nicht zu wärmeanspruchsvoll sind, sind gut möglich.

Die Klimaeignungszone C1-4 auf den Moränenzügen zeichnet sich durch geringere Ertragshöhe und -Sicherheit, beschränkte Arten- und Sortenwahl als in B4 aus.

2.5 Niederschläge und Temperatur

Von 2004 bis 2014 betrugen in Sursee (Meteostation Oberkirch) die durchschnittlichen jährlichen Niederschläge 1'145 mm. Die Durchschnittstemperatur lag bei 8.8 °C. Die Station liegt ebenfalls im Surental und das Klima kann als ähnlich vermutet werden.

Monat	Temperatur [°C]	Niederschlag [mm]
Januar	0.9	64
Februar	0.9	89
März	4.5	52
April	8.8	91
Mai	12.2	125
Juni	15.9	101
Juli	17.3	148
August	15.9	145
September	13.3	88
Oktober	9.5	71
November	5.1	60
Dezember	1.3	110
Jahr	8.8	1'145

Tabelle 1: Für die Berechnung der Monatsmittel wurden die Agrometeo-Daten der Station Oberkirch über den Zeitraum von 2004 bis 2014 verwendet (Für die Berechnung der Januarwerte für den Niederschlag wurden die Daten ab Februar 2004 bis Januar 2014 verwendet, da die Januarden 2004 fehlerhaft waren).

2.6 Grundwasser

Der Standort der Bodenmessstation liegt im Gewässerschutzbereich Au (Bereich für nutzbares Grundwasser-Vorkommen)⁴.

3 Boden

3.1 Bodenbeschreibung

Der Boden wurde bodenkundlich nach der FAL-Methode „Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden“ aufgenommen. Beim Boden handelt es sich um einen stark gleyigen, skelettarmen bis schwach skeletthaltigen, sandig lehmigen, grund- oder hangwassergeprägten, selten bis zur Oberfläche porengesättigten, ziemlich flachgründigen, gleichmässig geneigten Braunerde-Gley. Die Bodenschichten haben sich aus Moränenmaterial gebildet. Der Boden liegt in einem Gebiet mit Grundwasser.

Der Boden ist repräsentativ für die Böden der Moränenlandschaften im Luzerner See- und Surental.

3.2 Bodenkennwerte

Die meisten Bodenkennwerte werden in den 2 Bodenhorizonten A (Oberboden) und B (Unterboden) und dem Ausgangshorizont C dargestellt. Die Werte des C-Horizontes dienen als Vergleich zu den Bodenhorizonten.

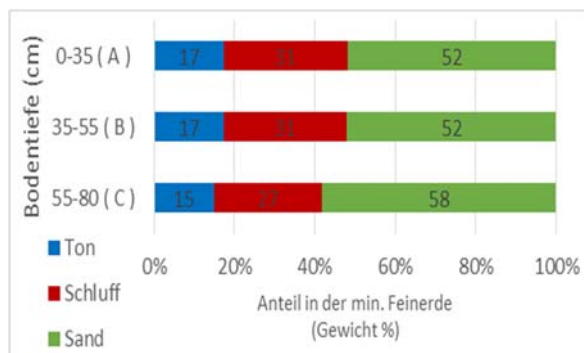


Abbildung 4: Bodenart: Sandiger Lehm

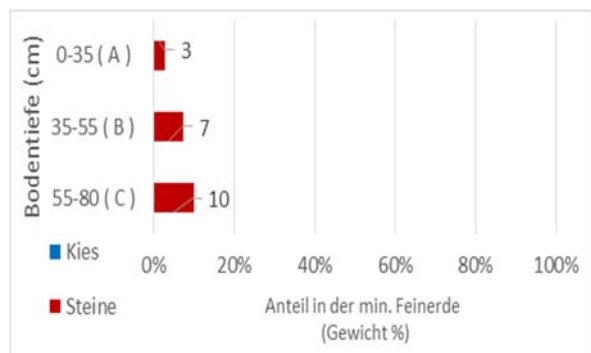


Abbildung 5: Skelettanteil: skelettarm über schwach skeletthaltig

Bei der Bodenart handelt es sich aufgrund des hohen Sandgehaltes um einen sandigen Lehm. Sandige Lehme sind sehr fruchtbare Böden. Durch den Tongehalt kann gut Wasser gespeichert werden. Gleichzeitig wird der Boden durch den Sandgehalt auch nicht allzu schwer.

Der geringe Skelettanteil von 3 % im Ober- und 7 % im Unterboden ergibt keine Beeinträchtigung in der Bodenbearbeitung und in den Durchwurzelungsmöglichkeiten der Pflanzen. Der Boden und die Porenverteilung sollten dadurch recht homogen sein.

⁴ Gewässerschutzkarte des Kantons Luzern, www.geo.lu.ch, 09.04.2015

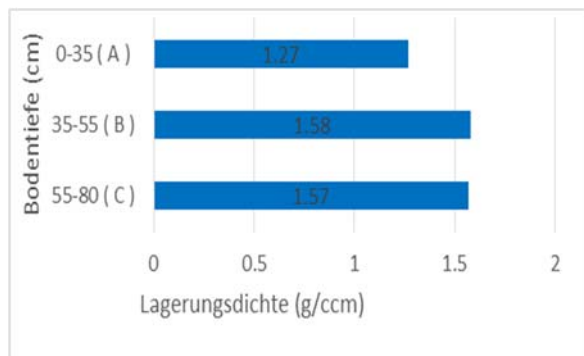


Abbildung 6: Lagerungsdichte: mitteldichter Oberboden über verdichtetem Unterboden

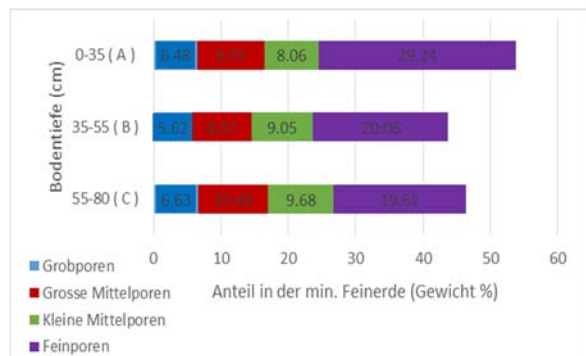


Abbildung 7: Porengrößenverteilung

Der untersuchte Boden (Ober- und Unterboden) besitzt ein durchschnittliches Porenvolumen von 49 %. Davon sind 6 % Grobporen, 10 % grosse Mittelporen, 9 % kleine Mittelporen und 25 % Feinporen.

Das in den Mittelporen enthaltene Wasser ist pflanzenverfügbar. In unserem Fall ist das etwa 19 % des Gesamtvolumens im Boden. Bei einer Bodentiefe von 41 cm bedeutet das, dass der Boden maximal 80 mm pflanzenverfügbares Wasser speichern kann.

Die Evapotranspiration eines Obstgartens ist von verschiedenen Faktoren abhängig, so von der Sonneneinstrahlung, der Bodenbedeckung, dem Fortschritt der Blüte. In unserem Fall kann man von einer Evapotranspiration zwischen 2 und 8 mm pro Tag ausgehen. Das heisst, dass ein voll aufgefülltes Porensystem im Sommer für mindestens 10 Tage lang reicht.

3.3 Desorptionskurven

Die Beziehung des Bodenwassergehaltes zu der Saugspannung ist abhängig von der Porenverteilung im Boden. Da für die Modellierung der Bodenwassergehalt, aber für die Bewässerung die Saugspannung benötigt wird, wurden die Parameter zur Erstellung der Desorptionskurve, welche diese Beziehung darstellt, im Labor bestimmt.

Das Wasser in den Mittelporen ist pflanzenverfügbar. Wasser, welches stärker an die Bodenmatrix gebunden ist (in den Feinporen) oder welches durch die Schwerkraft 2-3 Tage nach Wassersättigung des Bodens entwässert wird (in den Grobporen), ist nicht verwertbar für die Pflanzen.

Die Desorptionskurve wurde in den drei Tiefen 20 cm, 35 cm und 60 cm bestimmt.

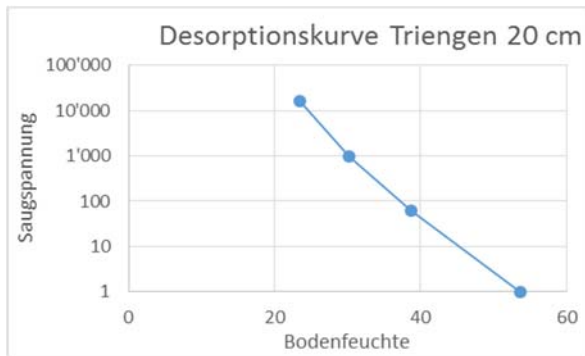


Abbildung 8: Desorptionskurve in 20 cm Tiefe

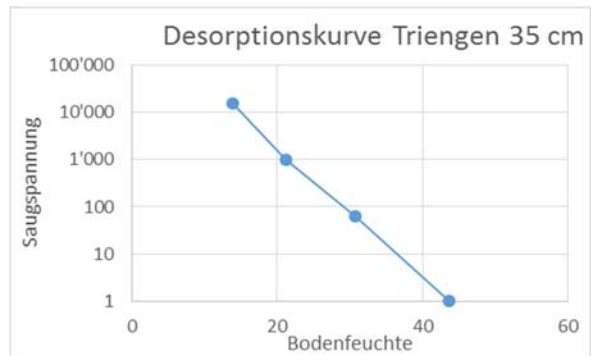


Abbildung 9: Desorptionskurve in 35 cm Tiefe

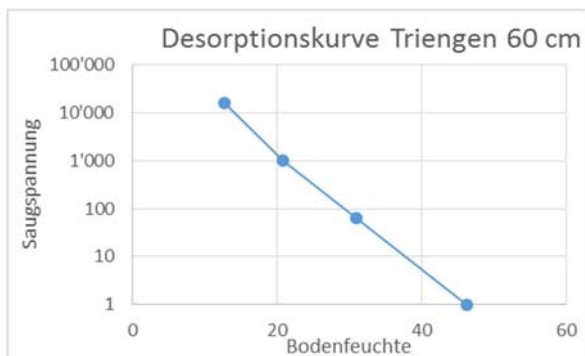


Abbildung 10: Desorptionskurve in 60 cm Tiefe

3.4 Landwirtschaftliche Nutzungseignung

Der Standort der Bodenfeuchtemessstation wird aufgrund seiner Boden- und Standorteigenschaften der landwirtschaftlichen Nutzungseignungsklasse 4 zugewiesen. Der limitierende Faktor ist dabei die geringe Bodengründigkeit von 41 cm, welche sich durch die Vernässungen und den Skelettanteil im Boden ergibt. Die landwirtschaftliche Nutzungseignungsklasse 4 wird durch eine getreidebetonte Fruchtfolge 2. Güte charakterisiert. Die Standorte in dieser Klasse eignen sich für den Getreideanbau. Mangels Ertragssicherheit (Sommertrockenheit) und/oder wegen zu grossem Aufwand bei der Bodenbearbeitung und bei den Bestell- und Erntearbeiten eignen sich die Böden in dieser Klasse nicht für einen vielseitigen Ackerbau.

3.5 Trockenheitsrisiko des Standortes

Die pflanzennutzbare Gründigkeit des Bodens ist mit 41 cm relativ gering. Gley-Böden gelten in Trockenjahren dank ihrer guten Wasserspeicherefähigkeit als fruchtbare Böden.

Der Standort selbst befindet sich in einem Gebiet mit regelmässigem Niederschlag.

4 Messtechnische Einrichtung und Modellierung

4.1 Messtechnik

Die Messstation ist mit Tensiometern (UMS-T8) und Bodenfeuchtesensoren (TRIME-TDR-Pico64) ausgerüstet. Es wird in den 3 Messtiefen 20 cm, 35 cm und 60 cm gemessen. Zur Sicherstellung der Messwerte sind pro Tiefe immer 2 Tensiometer und 2 Bodenfeuchtesensoren installiert.

Die Tensiometer und die Bodenfeuchtesensoren messen beide die Bodenfeuchte. Die Tensiometer messen die Saugspannung des Bodens in cbar. Die Saugspannung beschreibt die Kraft, mit der die Pflanzen dem Boden das Wasser entziehen. Je grösser der Saugspannungswert, desto trockener der Boden. Die Bodenfeuchtesensoren messen das enthaltene Wasser im Boden in Volumenprozent. Der Boden ist umso feuchter, je höher der Wert ist.

Die Messstation muss 3-4 mal im Jahr gewartet werden. Zur Vermeidung von Frostschäden werden die Tensiometer über den Winter aus dem Boden ausgebaut.

Die Angaben zur Saugspannung sind nötig für die Bewässerung. Die Angaben der Bodenfeuchte sind für die Modellierung des Feuchtegehaltes des Bodens notwendig.

Da sich keine Meteostation in der Umgebung befindet, wurde die Messstelle zusätzlich mit einer Meteostation ausgerüstet.

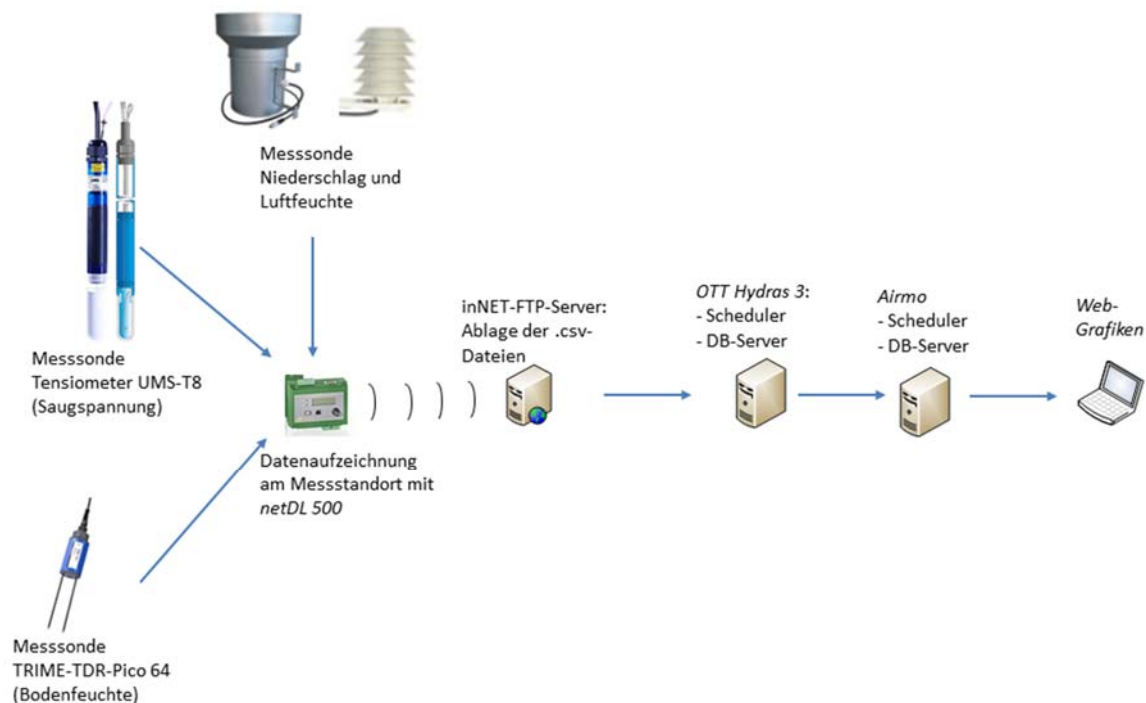


Abbildung 11: Schematische Darstellung Messeinrichtungen und Datenkommunikation

Die Messdaten werden via Datenlogger auf einen ftp-Server übertragen. Von dort aus können die Daten geholt und weiterverwendet werden.

5 Anhang: Bodenprofil Triengen

Situation		Topographie / Geologie		Titeldaten										
		Daten-schlüssel	Projekt-Nr.	Profil-art	Pedologie	Datum			Profil-bezeichnung					
		1	2	3	4	5			6	7				
		6	067	P	ck	11	05	2015	Wilihof 15					
		8	Polit. Gem. Triengen LU						Gem. Nr.		10			
		9	Kanton Wilihof								11			
		12	Blatt-Nr. 1:25'000	1109	Koordinaten	13	2'647	130	1'230	614	14			
		Kartierungs-code									15			
Bemerkungen		Bodenbezeichnung												
pnG=(1-0.03)*10		Braunerde-Gley				Bodentyp	16	V	6352			17		
+(1-0.04)*5+(1-0.04)*8		stark gleyig				Untertyp	G4					18		
+(1-0.14)*12+(1-0.46)*11		skelettarm / steinaltig				Skelettgehalt			19	0	3	20		
+(1-0.76)*9 = 40.6 cm		sandiger Lehm				Feinerdekörnung			21	6	5	22		
5-jährige Kirschen (Lebensdauer 10-15 Jahre)		Grund-oder hangwassergeprägt, selten bis zur Oberfläche porengesättigt				Wasserhaushaltsgruppe /			d			23		
Profiltiefe: 80cm		Zfg Ziemlich flachgründig				Pflanzennutzbare Gründigkeit			41	cm	4	24		
Profil mit Holländer: 140cm		Gleichmässig geneigt				Neigung	25	14	%	Geländeform	f	26		
Oberste 10cm sind als Wall aufgeschüttet														
Profilskizze														
27	28	29/30		31/32	33/34	35/36	37/38	39/40	41 (43)	42	44/45	46/47	48 - 55	56
Horizont			Profilskizze	Gefüge	organ. Sub. %	Ton %	Schluff %	Sand %	Kies (0.2-5) Vol. %	Steine (>5cm) Vol. %	Kalk CaCO ₃ %	pH CaCl ₂	Farbe (Munsell)	Proben Bemerkungen
Nr.	Tiefe	Bezeichnung												
		0												
Holländer bohrtung		Ah		Kr	3.8	17.4	30.7	51.9	1	2	-	6.6	db	Aufgeschüttet als Schutz, Probenahme
	10	A		Kr	4	17	30	53	1	3	-	5-6	db	
	15	A		Sp 2	4	17	30	53	1	3	-	5-6	db	
	23	A(cn)		Sp 2	3	17	30	53	1	3	-		db	
	35	Bg		Po 3	2.8	17.3	30.6	52.1	6	5	-		hb	Probenahme
	46	Bgg		Po 4	1.8	15.0	26.7	58.3	1	10	-		hb	Probenahme
	55	C												Sandiger Lehm, Probenahme
	80													
	90													
	100													
	120													
	140													
	160													
	180													
Profiltiefe		57												
140(80)														
Standort													Bewertung / Eignung	
Höhe ü. M. m	Exposition	Klima-eignungszone	Vegetation aktuell	Ausgangsmaterial	Landsch. element	Nutzungs- gebiet		Stufe	Boden-punktzahl	Eignung	Eignungs- klasse			
58	59	60	61	62/63	64	65		73	74	75	76			
520	O	B4	SO	MO	TS	O	LW	IV	65		4			
Nutzungsbeschränkungen / Meliorationen														
Krumenzustand	Limitierungen		Nutzungsbeschränkung		Meliorationen festgestellte		empfohlene		Düngereinsatz fest		flüssig			
66	67		68		69		70		71		72			
	G, F		G											
Wald														
Humus-form	Bestand	Baumhöhe, m gem. gesch.	Vorrat, m ³ /ha gem. gesch.	Alter, J gem. gesch.	Gesell-schaft	Geeignete Baumarten			Prod.-fähigkeit Stufe	Punkte				
100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111			
	a	b												

STANDORTDOKUMENTATION

BODENFEUCHTE-MESSSTATION OBERARTH



Version: 28.12.2016

Autor: Cornelia Knellwolf-Keiser, inNET Monitoring AG

Ein Projekt im Rahmen des Pilotprogramms zur Anpassung an den Klimawandel, gefördert durch das Bundesamt für Umwelt BAFU und die Zentralschweizer Umweltdirektionen (ZUDK).

1. Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	- 2 -
1.1	Projekt	- 2 -
1.2	Zusammenfassung.....	- 2 -
1.3	Situation vor Ort.....	- 2 -
1.4	Bodenuntersuchungen	- 3 -
2	Standort.....	- 3 -
2.1	Situation und Vegetation	- 3 -
2.2	Geologie / Ausgangsmaterial	- 4 -
2.3	Topographie	- 5 -
2.4	Klimaeignungszone.....	- 5 -
2.5	Niederschläge und Temperatur.....	- 5 -
2.6	Grundwasser	- 6 -
3	Boden	- 6 -
3.1	Bodenbeschrieb.....	- 6 -
3.2	Bodenkennwerte	- 6 -
3.3	Desorptionskurven	- 7 -
3.4	Landwirtschaftliche Nutzungseignung	- 8 -
3.5	Trockenheitsrisiko des Standortes	- 9 -
4	Messtechnische Einrichtung und Modellierung.....	- 9 -
4.1	Messtechnik	- 9 -
5	Anhang Bodenprofil Oberarth.....	- 11 -

1 Einleitung

1.1 Projekt

In Oberarth SZ wurde am 9. Juli 2015 eine Bodenfeuchtemessstation errichtet. Es ist die dritte Bodenfeuchtemessstation innerhalb des Projektes „Bodenfeuchtemonitoring mit Informationssystem“ von der ZUDK (Zentralschweizer Umweltdirektionen). Die erste Station wurde im November 2014 in Gelfingen LU erstellt, die zweite im darauffolgenden Mai in Triengen, Wilihof LU. Gemäss Klimaszenarien wird die Bodenfeuchte im Sommerhalbjahr künftig abnehmen. Dies hat nachteilige Folgen für die Fruchtbarkeit der Böden. Im Rahmen des BAFU-Pilotprogramms „Anpassung an den Klimawandel“ wird ein Messnetz zur Erfassung der Bodenfeuchte aufgebaut und betrieben. Die Messwerte und Empfehlungen für eine angepasste Bewirtschaftung werden auf einer Internetplattform publiziert. Sie sollen dazu beitragen, Ertragseinbussen in der Landwirtschaft zu minimieren. Im Bericht sind die Standort- und Bodenverhältnisse der Bodenfeuchtemessstation Oberarth beschrieben. Ebenfalls wird die verwendete Messtechnik erläutert.

1.2 Zusammenfassung

Station	Oberarth (Gemeinde Arth SZ)
Eigentümer	Michael Reichmuth
Höhe	435 m ü. M.
Koordinaten	2'682'865 / 1'212'316
Kultur	Heidelbeeren
Bewässerung	Nein (nur bei den ganz jungen Pflanzen)
Boden	Braunerde (pH künstlich gesenkt)
Geologie	Bachschuttkegel, Quartär, Holozän
Grundwasser	Grundwasserschutzareal, Grundwasserschutzzone S3
Klimaeignungszone	A5, Dauergrünland bevorzugt oder begünstigt
Meteo	Klimastation der Agrometeo in Arth
Niederschlag	1'650 mm (Jahresdurchschnitt)
Temperatur	10°C (Jahresdurchschnitt)

1.3 Situation vor Ort

Der Standort für die Bodenmessstation liegt in einer Heidelbeerkultur von Michael Reichmuth in Oberarth (SZ). Die Parzelle wird nicht bewässert. Auf der Nachbarsparzelle wird Gemüse produziert. Diese Parzelle wird bewässert.

1.4 Bodenuntersuchungen

Für die Installation der Bodenfeuchtemesssonden wurde ein Graben mit 1 m Breite und 75 cm Tiefe ausgehoben. Vor der Installation der Messsonden wurde das Bodenprofil bodenkundlich aufgenommen und die Proben für die Labor-Analysen entnommen.

In 3 Bodenhorizonten wurden für die Körnungs-Analyse gestörte Proben genommen. In ebenfalls 3 Bodenhorizonten wurden für die Bestimmung des Porenvolumens, der Porengrössenverteilung und der Lagerungsdichte ungestörte Proben entnommen. Die Bodenproben wurden durch das Labor Ag-roLab Swiss GmbH in Root analysiert.

2 Standort

2.1 Situation und Vegetation

Die Bodenfeuchtemessstation befindet sich in Oberarth zwischen der Rigi, dem Rossberg und dem Zugersee.



Abbildung 1: Situation der Bodenfeuchtemessstation in Oberarth¹

¹ <http://www.geo.admin.ch/>, 23.06.2015

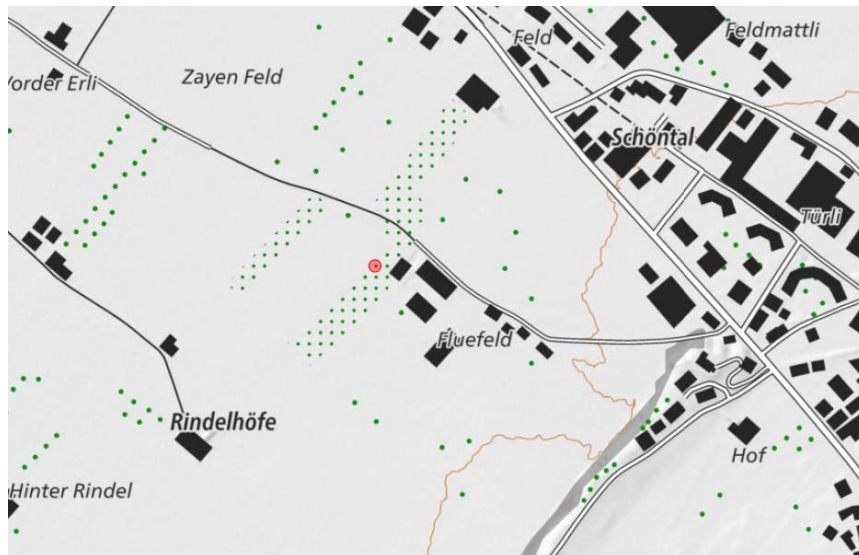


Abbildung 2: Lage der Bodenfeuchtemessstation Oberarth²

Die Station befindet sich in einer Heidelbeerplantage.

Heidelbeeren stellen sehr hohe Ansprüche an die Bodeneigenschaften. Die Heidelbeeren verlangen sehr gut durchlässige, saure Böden mit einem pH-Wert zwischen 4 und 5. Traditionell werden Heidelbeeren zum Teil in sogenannten Moorbeeten angebaut. In Oberarth werden die Heidelbeeren auf Dämme, die im Reihensbereich mit natürlichen Holzabfallprodukten angelegt werden, gepflanzt. Dadurch kann der pH- Wert des Bodens gesenkt werden.³

Heidelbeeren sind empfindlich gegenüber Trockenheit. Das flache Wurzelwerk ist vor Austrocknung besonders empfindlich. Zudem verfügt die Heidelbeere nicht über spezielle Anpassungen an wechselfeuchte Bedingungen, so dass sie auf eine gleichmäßig hohe Bodenfeuchte angewiesen ist. Bei Trockenheit kann es schnell zu hohen Wasserverlusten und Blattschäden kommen. Der Boden im Wurzelraum muss gleichmäßig durchfeuchtet sein. Daher können zum Beispiel bei Sommertrockenheit Zusatzbewässerungen erforderlich werden. Trockenheit während der Blüte führt zu einem schwachen oder schadhafte Fruchtansatz, bei dem sich nur wenige Beeren ausbilden; Teile des Fruchtansatzes bleiben leer.⁴

2.2 Geologie / Ausgangsmaterial

Das Ausgangsmaterial ist der Bachschuttkegel. Ebenfalls beeinflusst ist die Geologie durch Blockschutt von der Rigi und Moränenmaterial aus der Würm-Eiszeit.

² Map.geo.sz.ch, 23.06.2015

³ Die Kulturheidelbeere, eine junge Beerenart auf Erfolgskurs, SCHWEIZ. Z. OBST-WEINBAU Nr. 15/02

⁴ <https://de.wikipedia.org/wiki/Kulturheidelbeeren>, 30.06.2015



Abbildung 3: Geologischer Atlas der Schweiz⁵ (Stricke: Bachschuttkegel, braun: Rigi-Nagelfluh, Blockschutt, Hangschutt, hellgrün: Moräne)

2.3 Topographie

Die Bodenfeuchtemessstation befindet sich in der Talebene von Oberarth und liegt auf einer Höhe von 435 m ü.M. Das Gelände ist flach.

2.4 Klimaeignungszone

In der Klimaeignungskarte der Schweiz⁶ ist die Region rund um den Vierwaldstättersee und um den Zugersee der Klimaeignungszone A5 zugeordnet. Da die Bodenmessstation nicht weit vom Zugersee liegt, ist sie auch dieser Klimaeignungszone zugeordnet.

Der Futterbau auf der Basis von Naturwiesen mit hohen Erträgen ist in dieser Klimaeignungszone bevorzugt. Kunstfutterbau ist häufig beeinträchtigt (Bodenbearbeitung, Saat usw.) und auch für den Ackerbau, vor allem den Getreidebau ist diese Zone sehr ungünstig. Einzelne Spezialkulturen können in den dafür geeigneten Böden und Lagen angebaut werden.

2.5 Niederschläge und Temperatur

Von 2004 bis 2014 betrugen in Arth (Meteostation 480 m ü. M.) die durchschnittlichen jährlichen Niederschläge 1'650 mm. Die Durchschnittstemperatur lag bei 10 °C.

⁵ <http://www.geo.admin.ch/>, 23.06.2015

⁶ Klimaeignungskarte der Schweiz, map.geo.admin.ch, <http://www.blw.admin.ch/dienstleistungen/00334/00336/index.html?lang=de>

Monat	Temperatur [°C]	Niederschlag [mm]
Januar	1.5	76.7
Februar	1.7	68.3
März	5.1	108.9
April	10.4	115.3
Mai	14.0	197.7
Juni	17.4	207.3
Juli	19.2	210.8
August	18.0	256.5
September	15.2	138.9
Oktober	11.0	106.5
November	5.5	65.9
Dezember	1.6	96.7
Jahr	10.0	1'649.7

Tabelle 1: Für die Berechnung der Monatsmittel wurden die agrometeo-Daten der Station Gelfingen über den Zeitraum von 2004 bis 2014 verwendet.

2.6 Grundwasser

Die Bodenmessstation liegt im Gewässerschutzbereich Au, im Grundwasserschutzareal. Die Grundwasserisohypse verläuft auf 425 m ü.M. Das Gebiet ist als S3 einer Grundwasserfassung ausgeschieden. ⁷

3 Boden

3.1 Bodenbeschreibung

Der Boden wurde bodenkundlich nach der FAL-Methode „Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden“ aufgenommen. Beim Boden handelt es sich um eine sehr stark saure, anthropogen beeinflusste, skelettfreie bis schwach skeletthaltige, lehmige, senkrecht durchwaschene, normal durchlässige, ziemlich flachgründige, ebene Braunerde. Die Bodenschichten haben sich aus dem Schwemmmaterial des Bachschuttkegels gebildet.

3.2 Bodenkennwerte

Die meisten Bodenkennwerte werden in den 2 Bodenhorizonten A (Oberboden) und B (Unterboden) und dem Ausgangshorizont C dargestellt. Die Werte des C-Horizontes dienen als Vergleich zu den Bodenhorizonten.

⁷ Gewässerschutzkarte des Kantons Schwyz, map.geo.sz.ch, 21.08.2015

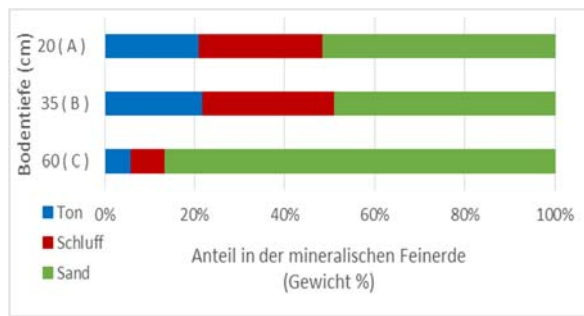


Abbildung 4: Bodenart: Lehm über Lehm. Lehmiger Sand als Ausgangsmaterial (C-Horizont)

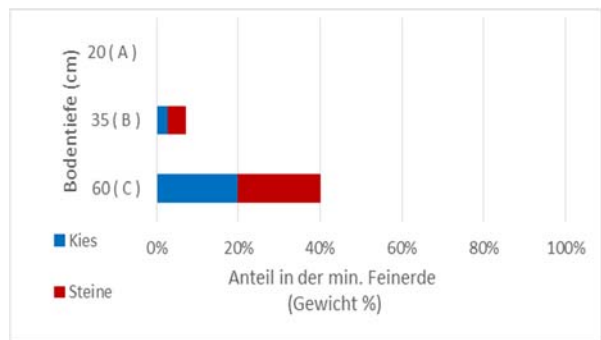


Abbildung 5: Skelettanteil: skelettfrei über skelettarm

Bei der Bodenart handelt es sich um einen Lehm. Lehme sind sehr fruchtbare Böden. Durch den Tongehalt kann gut Wasser gespeichert werden. Gleichzeitig ist dieser Lehm durch den relativ hohen Sandgehalt aber auch ein nicht allzu schwerer Boden.

Der geringe Skelettanteil im Boden erleichtert die Bodenbearbeitung. Ab etwa 55 cm wird der Boden skeletthaltiger, die Bearbeitungstiefe liegt aber in der Regel höher.

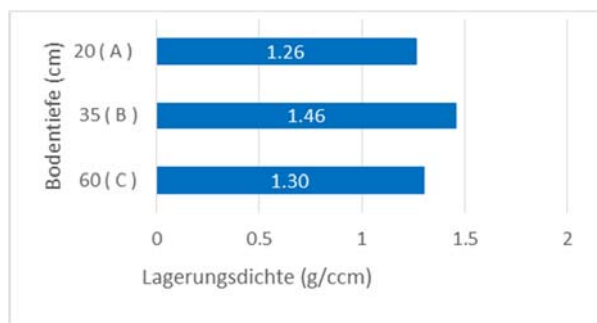


Abbildung 6: Lagerungsdichte: sehr gering verdichteter Oberboden über gering verdichtetem Unterboden

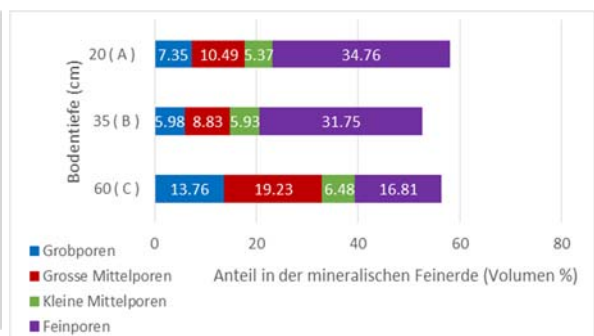


Abbildung 7: Porengrößenverteilung

Der untersuchte Boden (A und B-Horizont) besitzt ein mittleres Porenvolumen von etwa 55 %. Davon sind 7 % Grobporen, 10 % grosse Mittelporen, 6 % kleine Mittelporen und 33 % Feinporen.

Das in den Mittelporen enthaltene Wasser ist pflanzenverfügbar. In unserem Fall ist das etwa 16 % des Gesamtvolumens im Boden. Bei einer Bodentiefe von 44 cm bedeutet das, dass der Boden maximal 70 mm pflanzenverfügbares Wasser speichern kann.

Die Evapotranspiration von Beerensträuchern ist von verschiedenen Faktoren abhängig, so von der Sonneneinstrahlung, der Bodenbedeckung, dem Fortschritt der Blüte. In unserem Fall kann man von einer Evapotranspiration zwischen 2 und 8 mm pro Tag ausgehen. Das heisst, dass ein voll aufgefülltes Porensystem im Sommer für mindestens 9 Tage lang reicht.

3.3 Desorptionskurven

Die Beziehung des Bodenwassergehaltes zur Saugspannung ist abhängig von der Porenverteilung im Boden. Da für die Modellierung der Bodenwassergehalt, für die Bewässerung aber die Saugspannung

benötigt wird, wurden die Parameter zur Erstellung der Desorptionskurve, welche diese Beziehung darstellt, im Labor bestimmt.

Das Wasser in den Mittelporen ist pflanzenverfügbar. Wasser, welches stärker an die Bodenmatrix gebunden ist (in den Feinporen) oder welches durch die Schwerkraft 2-3 Tage nach Wassersättigung des Bodens entwässert wird, ist nicht verwertbar für die Pflanzen.

Die Desorptionskurve wurde in den drei Tiefen 20 cm, 35 cm und 60 cm bestimmt.

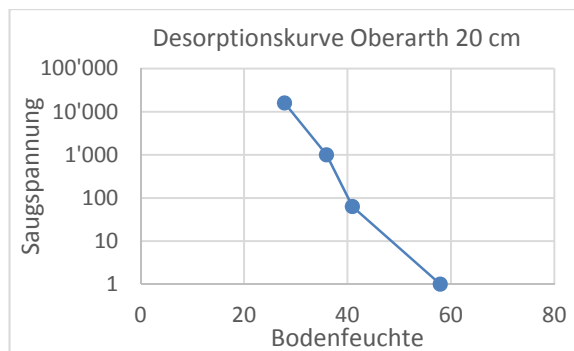


Abbildung 8: Desorptionskurve in 20 cm Tiefe

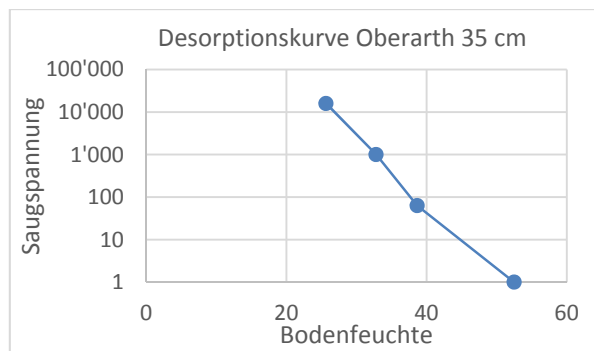


Abbildung 9: Desorptionskurve in 35 cm Tiefe

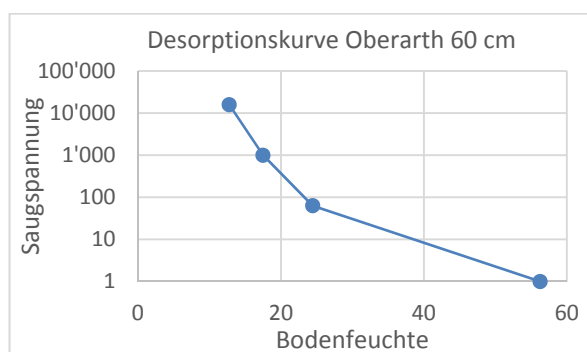


Abbildung 10: Desorptionskurve in 60 cm Tiefe

3.4 Landwirtschaftliche Nutzungseignung

Der Standort der Bodenfeuchtemessstation wird aufgrund seiner Boden- und Standorteigenschaften der landwirtschaftlichen Nutzungseignungsklasse 6 zugewiesen. Der limitierende Faktor ist dabei die geringe Bodengründigkeit von 44 cm, welche sich durch den hohen Skelettanteil im Boden ergibt. Ebenfalls limitierend ist die Klimazone A5. Die landwirtschaftliche Nutzungseignungsklasse 6 wird durch eine Landwirtschaft, in welcher der Futterbau bevorzugt und der Ackerbau stark eingeschränkt ist, charakterisiert. Die Standorte in dieser Klasse eignen sich nur mit stark limitierenden Eigenschaften für die ackerbauliche Nutzung.

3.5 Trockenheitsrisiko des Standortes

Durch die geringe pflanzennutzbare Gründigkeit des Bodens von 44 cm kann der Boden in Trockenperioden eventuell nicht genügend Wasser speichern. In unserem Fall ist der Grundwasserspiegel relativ hoch, dadurch wird die Gefahr der Austrocknung etwas gemindert.

Der Standort ist in einem Gebiet mit zurzeit regelmässigem Niederschlag.

4 Messtechnische Einrichtung und Modellierung

4.1 Messtechnik

Die Messstation ist mit Tensiometern (UMS-T8) und Bodenfeuchtesensoren (TRIME-TDR-Pico64) ausgerüstet. Es wird in den 3 Messtiefen 20 cm, 35 cm und 60 cm gemessen. Zur Sicherstellung der Messwerte sind pro Tiefe immer 2 Tensiometer und 2 Bodenfeuchtesensoren installiert.

Die Tensiometer und die Bodenfeuchtesensoren messen beide die Bodenfeuchte. Die Tensiometer messen die Saugspannung des Bodens in cbar. Die Saugspannung beschreibt die Kraft, mit der die Pflanzen dem Boden das Wasser entziehen. Je grösser der Saugspannungswert, desto trockener der Boden. Die Bodenfeuchtesensoren messen das enthaltene Wasser im Boden in Volumenprozent. Der Boden ist umso feuchter, je höher der Wert ist.

Die Messstation muss 3-4 mal im Jahr gewartet werden. Zur Vermeidung von Frostschäden werden die Tensiometer über den Winter aus dem Boden ausgebaut.

Die Angaben zur Saugspannung sind nötig für die Bewässerung. Die Angaben der Bodenfeuchte sind für die Modellierung des Feuchtegehaltes des Bodens notwendig.

Da sich in Arth eine Meteostation von Agrometeo befindet, wurde auf eine eigene Meteostation bei der Bodenfeuchtemessstation verzichtet. Die benötigten Daten werden von www.agrometeo.ch bezogen und zusätzlich seit Messbeginn in der inNET-Datenbank archiviert.

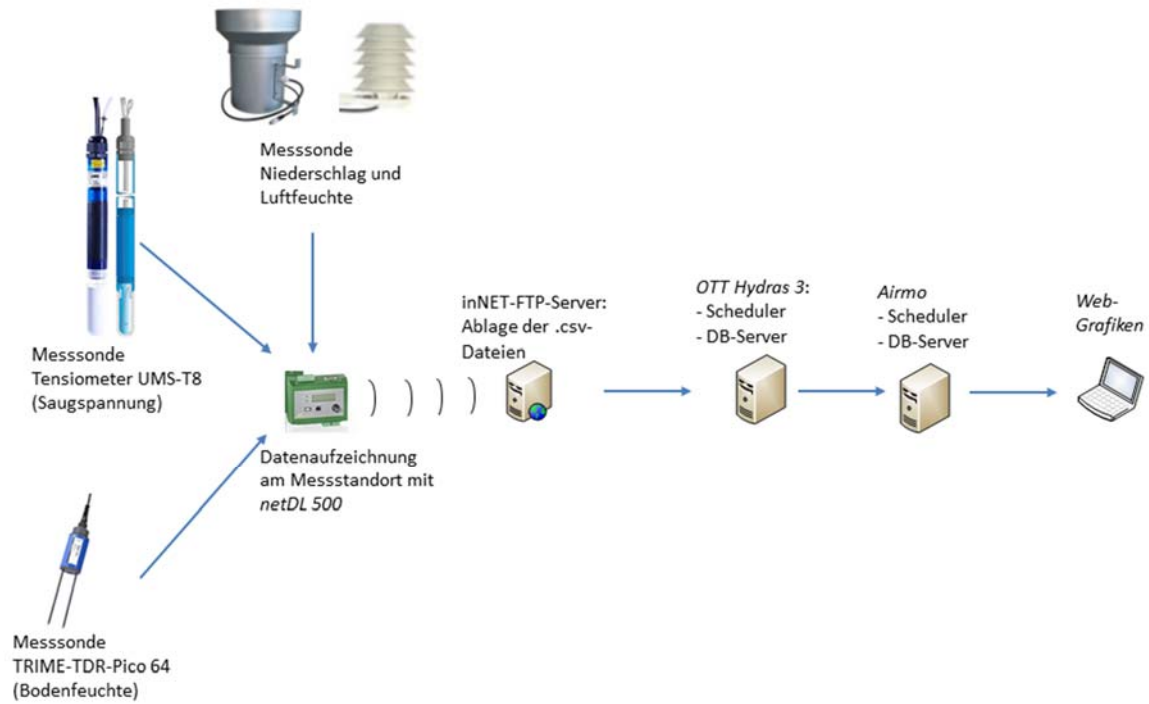


Abbildung 11: Schematische Darstellung Messeinrichtungen und Datenkommunikation

Die Messdaten werden via Datenlogger auf einen ftp-Server übertragen. Von dort aus können die Daten geholt und weiterverwendet werden.

5 Anhang Bodenprofil Oberarth

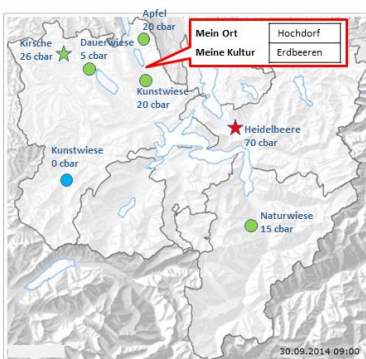
ENTWURF: GESTALTUNG WEBSEITE

BODENFEUCHTEMESSNETZ ZENTRALSCHWEIZ

URI • SCHWYZ • OB- u. NIDWALDEN • LUZERN • ZUG

PROJEKT KONTAKT IMPRESSUM GLOSSAR LINKS

Bodenzustand
Messwerte
10-Tages-Prognose
Beurteilungskriterien
Anpassung an Trockenheit

Standortangaben

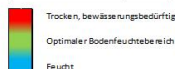
Mein Ort:
 Meine Kultur:

Optimale Bodenfeuchte: Saugspannung 10-25 cbar

Anzeige

☒ Saugspannung in 35cm
☐ Saugspannung in 20cm
☐ Bodenwassergehalt in 35cm
☐ Bodenwassergehalt in 20cm
☐ Niederschläge letzte 24h
☐ Stationsnamen
☒ Kultur bei der Station
☐ Nicht bewässerter Standort
☒ Bewässerter Standort

Zustand des Bodens (auf ausgewählte Kultur ausgerichtet)



[> home](#)

Version: 25.08.2015

Autoren: Cornelia Knellwolf-Keiser, inNET Monitoring AG
 Claudia Loretz, inNET Monitoring AG und Universität Bern
 Christian Ruckstuhl, inNET Monitoring AG

Ein Projekt im Rahmen des Pilotprogramms zur Anpassung an den Klimawandel, gefördert durch das Bundesamt für Umwelt BAFU und die Zentralschweizer Umweltdirektionen (ZUDK).

Inhaltsverzeichnis

1	Startseite	- 2 -
2	Standortbeschreibung.....	- 4 -
3	Messwerte > Datenabfrage	- 6 -
4	Prognose.....	- 8 -
5	Beurteilungskriterien.....	- 9 -
6	Glossar	- 10 -
7	Links.....	- 11 -

1 Startseite

[URI](#) * [SCHWYZ](#) * [OBWALDEN](#) * [NIDWALDEN](#) * [LUZERN](#) * [ZUG](#)

[PROJEKT](#) [KONTAKT](#) [IMPRESSUM](#) [GLOSSAR](#)


UMWELT-ZENTRALSCHWEIZ.CH

[Bodenzustand](#)

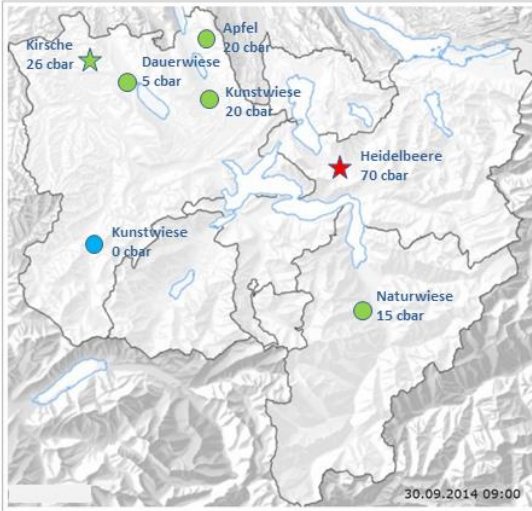
[Messwerte](#)

[10-Tages-Prognose](#)

[Beurteilungskriterien](#)

[Anpassung an Trockenheit](#)





Standortangaben

Mein Ort

Bitte auswählen	▼
-----------------	---

Meine Kultur

Bitte auswählen	▼
-----------------	---

Anzeige

☒ Saugspannung in 35cm

☐ Saugspannung in 20cm

☐ Bodenwassergehalt in 35cm

☐ Bodenwassergehalt in 20cm

☐ Niederschläge letzte 24h

☐ Stationsnamen

☒ Kultur bei der Station

☐ Nicht bewässerter Standort

☒ Bewässerter Standort

Zustand des Bodens (auf angezeigte Kultur ausgerichtet)



Trocken, bewässerungsbedürftig

Optimaler Bodenfeuchtebereich

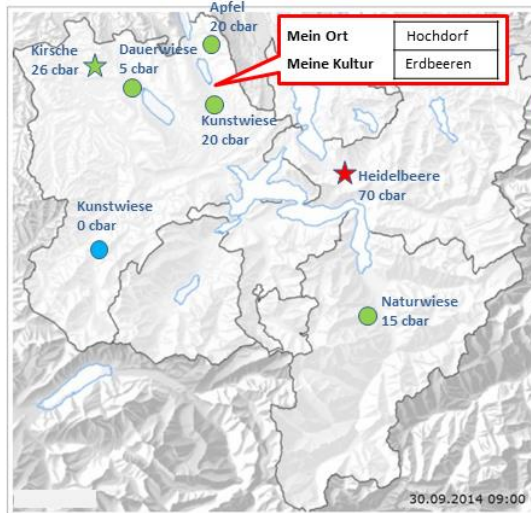
Feucht

Anwendung des Bodenfeuchtemessnetzes

Die gemessenen Saugspannungen der verschiedenen Stationen werden auf der Homepage angezeigt. Durch die Auswahl einer Kultur wird dem Benutzer der optimale Saugspannungsbereich dieser Kultur angezeigt. Durch die Auswahl des Standortes wird dem Benutzer seine Lage auf der Karte mit den anderen Stationen angezeigt. Somit weiss der Benutzer, welche Bodenfeuchtemessstationen am nächsten sind. Er kann die Bodenfeuchte der umliegenden Stationen als Hilfe zur Beurteilung, ob er bewässern will oder nicht, einbeziehen. Die Farben, welche auf der Homepage angezeigt werden, beziehen sich immer auf die entsprechenden Kulturen der Stationen und nicht der Auswahl.

Bodenzustand

Messwerte
10-Tages-Prognose
Beurteilungskriterien
Anpassung an Trockenheit



Standortangaben

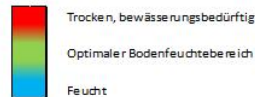
Mein Ort	Hochdorf	▼
Meine Kultur	Erdbeeren	▼

Optimale Bodenfeuchte: Saugspannung 10-25 cbar

Anzeige

- ☒ Saugspannung in 35cm
- ☐ Saugspannung in 20cm
- ☐ Bodenwassergehalt in 35cm
- ☐ Bodenwassergehalt in 20cm
- ☐ Niederschläge letzte 24h
- ☐ Stationsnamen
- ☒ Kultur bei der Station
- ☐ Nicht bewässerter Standort
- ☒ Bewässerter Standort

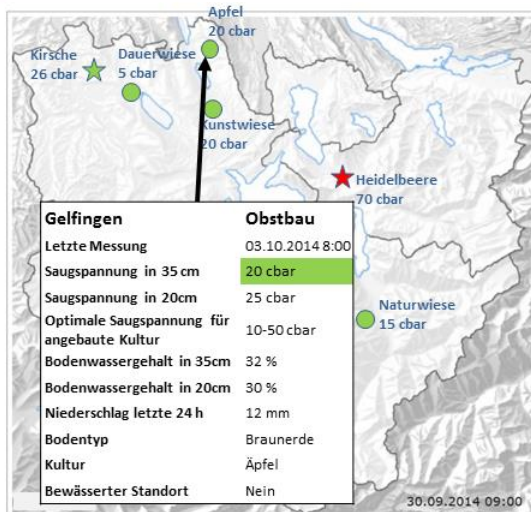
Zustand des Bodens (auf ausgewählte Kultur ausgerichtet)



[> home](#)

Bodenzustand

Messwerte
10-Tages-Prognose
Beurteilungskriterien
Anpassung an Trockenheit



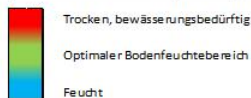
Standortangaben

Mein Ort	Bitte auswählen	▼
Meine Kultur	Bitte auswählen	▼

Anzeige

- ☒ Saugspannung in 35cm
- ☐ Saugspannung in 20cm
- ☐ Bodenwassergehalt in 35cm
- ☐ Bodenwassergehalt in 20cm
- ☐ Niederschläge letzte 24h
- ☐ Stationsnamen
- ☒ Kultur bei der Station
- ☐ Nicht bewässerter Standort
- ☒ Bewässerter Standort

Zustand des Bodens (auf angezeigte Kultur ausgerichtet)



2 Standortbeschreibung

URI * SCHWYZ * OBWALDEN * NIDWALDEN * LUZERN * ZUG

PROJEKT KONTAKT IMPRESSUM GLOSSAR LINKS



UMWELT-ZENTRALSCHWEIZ.CH

Bodenzustand
Messwerte
10-Tages-Prognose
Beurteilungskriterien
Anpassung an Trockenheit



Gelfingen

Standortbeschreibung

[> Bodenbeschreibung](#)

Der Standort ist repräsentativ für das Luzerner Seetal. Die Apfelplantage wird nicht bewässert.

Allgemeines	
Station	Gelfingen (Obstbau)
Koordinaten	2'663'483 / 1'228'518
Kultur	Äpfel (Sorte Diwa)
Bewässerung	Ja
Einrichten Messstation	26. November 2014
Topographie	Gleichmässig geneigt
Geologie	Moräne



URI * SCHWYZ * OBWALDEN * NIDWALDEN * LUZERN * ZUG

PROJEKT KONTAKT IMPRESSUM GLOSSAR LINKS



UMWELT-ZENTRALSCHWEIZ.CH

Bodenzustand
Messwerte
10-Tages-Prognose
Beurteilungskriterien
Anpassung an Trockenheit



Gelfingen

Bodenbeschreibung

[> Standortbeschreibung](#)

Der Boden dieser Station ist sehr steinhaltig. Dadurch reduziert sich die pflanzennutzbare Gründigkeit des Bodens. Da die Wurzeln der Apfelbäume tief wurzeln, können sie aber auch auf Wasserreserven in den unteren Bodenschichten zurückgreifen.

Boden	
Bodentyp	Braunerde
Untertyp	Steinhaltig, lehmig, normal durchlässig, ziemlich flachgründig
Pflanzennutzbare Gründigkeit	44 cm
Nutzung	Obstbau
Klimaeignungszone	A4 (Futterbau begünstigt)
Bodenpunktzahl	64
Landwirtschaftliche Nutzungseignung	Getreidebetonte Fruchtfolge 2. Güte



Messwerte	
Letzte Messung	03.10.2014 8:00 Uhr
Saugspannung in 20 cm	25 cbar
Saugspannung in 35 cm	20 cbar
Saugspannung in 60 cm	15 cbar
Bodenwassergehalt in 20 cm	30 %
Bodenwassergehalt in 35 cm	32 %
Bodenwassergehalt in 60 cm	34 %

[> Datenabfrage](#)

Meteo	
Niederschlag letzte 24h	12 mm
Lufttemperatur	15 °C
Relative Luftfeuchtigkeit	30 %
Windgeschwindigkeit	10 km/h
Windrichtung	Ost

[> Vollständige Standortbeschreibung als pdf](#)



3 Messwerte > Datenabfrage

URI * SCHWYZ * OBWALDEN * NIDWALDEN * LUZERN * ZUG

PROJEKT KONTAKT IMPRESSUM GLOSSAR LINKS

UMWELT-ZENTRALSCHWEIZ.CH

Bodenzustand
Messwerte
10-Tages-Prognose
Beurteilungskriterien
Anpassung an Trockenheit

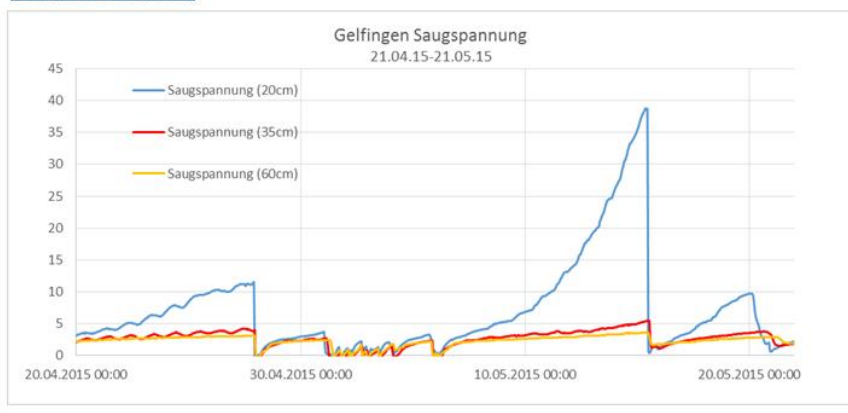


Aktuelle Messwerte [> Datenabfrage](#) [> 10-Tages-Prognose](#)

Messwerte **1 Monat** 1 Woche 1 Tag

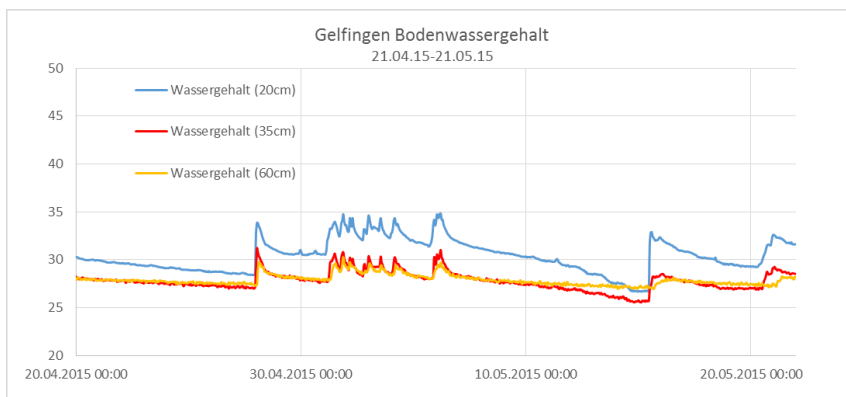
Gelfingen

[> Standortbeschreibung](#)



- [> Willihof](#)
- [> Schwyz](#)
- [> Urswil 1](#)
- [> Urswil 2](#)
- [> Schüpfheim](#)
- [> Sursee](#)
- [> Erstfeld](#)

[> home](#)



Bodenzustand

Messwerte

10-Tages-Prognose

Beurteilungskriterien

Anpassung an Trockenheit



[> Aktuelle Messwerte](#) [Datenabfrage](#) [> 10-Tages-Prognose](#)

Standorte

- ☒ Gelfingen
- ☐ Wilihof
- ☐ Schwyz
- ☐ Urswil
- ☐ Schüpfheim
- ☐ Sursee
- ☐ Erstfeld

Parameter

- ☐ Niederschlag letzte 24h
- ☐ Lufttemperatur
- ☐ Relative Luftfeuchtigkeit
- ☐ Windgeschwindigkeit
- ☐ Windrichtung
- ☒ Saugspannung in 20 cm
- ☒ Saugspannung in 35 cm
- ☒ Saugspannung in 60 cm
- ☐ Bodenwassergehalt in 20 cm
- ☐ Bodenwassergehalt in 35 cm
- ☐ Bodenwassergehalt in 60 cm

Zeitraum

- ☐ 1 Tag
- ☐ 3 Tage
- ☐ 1 Woche
- ☒ 1 Monat
- ☐ 3 Monate
- ☐ 6 Monate
- ☐ 1 Jahr
- ☐ Zeitspanne

Ausgabe-Format

- ☒ Graphik
- ☐ csv-Datei

Start Datenabfrage

Von:

Bis:

[> home](#)

4 Prognose

URI * SCHWYZ * OBWALDEN * NIDWALDEN * LUZERN * ZUG

PROJEKT KONTAKT IMPRESSUM GLOSSAR LINKS

UMWELT-ZENTRALSCHWEIZ.CH

Bodenzustand
Messwerte
10-Tages-Prognose
Beurteilungskriterien
Anpassung an Trockenheit



[> Aktuelle Messwerte](#) [> Datenabfrage](#) 10-Tages-Prognose

Standorte

- ☒ Gelfingen
- ☐ Wilihof
- ☐ Schwyz
- ☐ Urswil
- ☐ Schüpfheim
- ☐ Sursee
- ☐ Erstfeld

Start Prognose

[> home](#)

URI * SCHWYZ * OBWALDEN * NIDWALDEN * LUZERN * ZUG

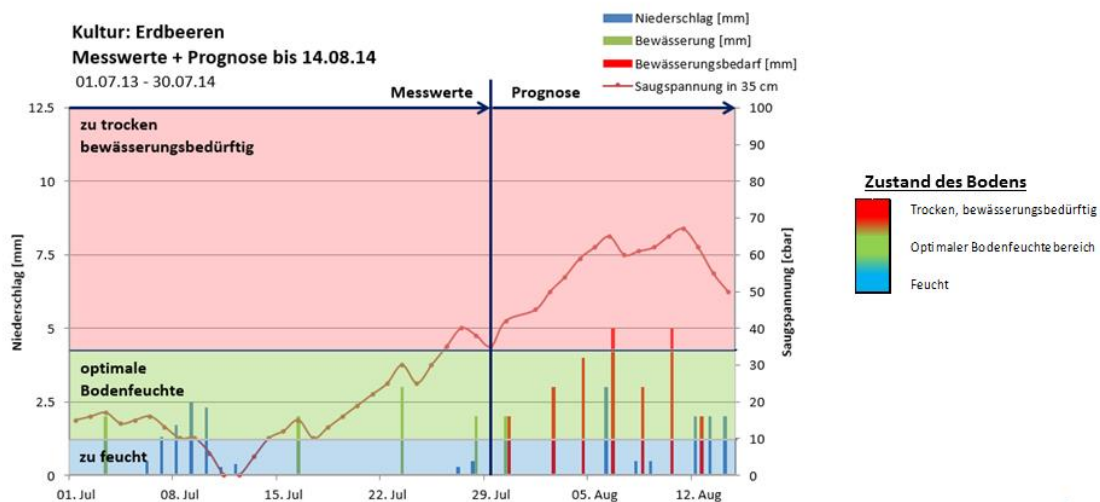
PROJEKT KONTAKT IMPRESSUM GLOSSAR LINKS

UMWELT-ZENTRALSCHWEIZ.CH

Bodenzustand
Messwerte
10-Tages-Prognose
Beurteilungskriterien
Anpassung an Trockenheit



[> Aktuelle Messwerte](#) [> Datenabfrage](#) 10-Tages-Prognose



[> home](#)

5 Beurteilungskriterien

URI * SCHWYZ * OBWALDEN * NIDWALDEN * LUZERN * ZUG

PROJEKT KONTAKT IMPRESSUM GLOSSAR LINKS



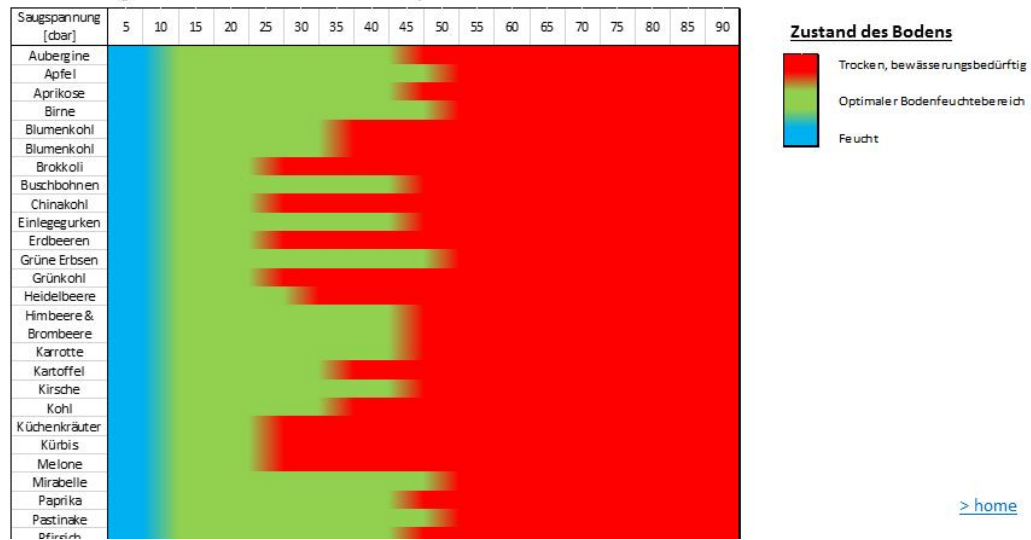
UMWELT-ZENTRALSCHWEIZ.CH

Bodenzustand
Messwerte
10-Tages-Prognose
Beurteilungskriterien
Anpassung an Trockenheit



Beurteilungskriterien

Die Beurteilung des Bodenfeuchtezustandes variiert je nach Kultur:



[> home](#)

6 Glossar



Glossar

- [Bodenfeuchte](#)
- [Bodentyp](#)
- [Bodenwassergehalt](#)
- [Klimaeignungszone](#)
- [Landwirtschaftliche Nutzungseignung](#)
- [Saugspannung](#)
- [TDR-Sensor](#)
- [Tensiometer](#)

Bodenfeuchte	Die Bodenfeuchte bezeichnet das Wasser, welches bei einem Regenereignis gegen die Schwerkraft im Boden gehalten wird. Sie setzt sich aus dem Adsorptionswasser, einer dünne Wasserhülle rund um die Bodenpartikel, und dem Kapillarwasser, welches in feineren Poren bleibt und Menisken ausbildet, zusammen. Die Bodenfeuchte kann auf zwei Arten gemessen werden: Durch eine volumetrische Messung des Bodenwassergehaltes mittels TDR-Sensoren oder durch die Messung der Saugspannung mittels Tensiometern.
Bodentyp	In der Bodenkunde werden die Böden nach Bodentypen eingeteilt. Sie bezeichnen unterschiedliche Erscheinungsformen von Böden. Die Bodentypen werden durch seinen Aufbau und Eigenschaften unterschieden.
Bodenwassergehalt	Der Bodenwassergehalt bezeichnet den volumetrischen Anteil des Wassers im Boden. Die Wasserspeicherkapazität eines Bodens unterscheidet sich je nach Gefüge und Bodenart. Beim Bodenfeuchtemessnetz wird der Bodenwassergehalt mittels TDR-Sensoren gemessen.
Klimaeignungszone	Die Klimaeignungskarte der Schweiz teilt die Schweiz in verschiedene Klimaeignungszonen ein. Diese Karte wird mithilfe der klimatischen Bedingungen der jeweiligen Regionen erstellt.
Landwirtschaftliche Nutzungseignung	Sie beinhaltet eine objektive Beurteilung der Nutzungseignung eines Standortes. Hauptkriterium ist, dass jeder Standort so genutzt werden soll, dass sein Produktionspotential zumindest erhalten bleibt. Die Nutzungseignung hängt von den klimatischen Faktoren und den Bodeneigenschaften ab.
Saugspannung	Die Saugspannung bezeichnet die Kraft, welche die Pflanze aufwenden muss, um das Wasser aus dem Boden zu entziehen. Je trockener der Boden ist, umso grösser der Wert. Die Saugspannung wird mithilfe von Tensiometern gemessen. Die Messwerte werden in cbar angegeben.
TDR-Sensor	Der TDR-Sensor (Time Domain Reflectometry) misst den Bodenwassergehalt. Der Sensor besteht aus zwei parallelen Stäben welche geladen sind. Es wird ein Spannungspuls auf die Stäbe übermittelt. Diese Spannung variiert mit dem Wassergehalt im Boden.
Tensiometer	Mit einem Tensiometer kann die Saugspannung eines Bodens gemessen werden. Die wassergefüllte, wasserdurchlässige Keramikkerze wird in den Boden eingebaut. Beim Abtrocknen des Bodens, leitet sie das Wasser vom Innern des Tensiometers an den austrocknenden Boden weiter, dadurch entsteht im geschlossenen Tensiometerrohr ein Unterdruck, der als Saugspannung bezeichnet wird und abgelesen werden kann.

7 Links



Links

- [BAFU Klima](http://www.bafu.admin.ch/klima/index.html?lang=de) (hyperlink zu <http://www.bafu.admin.ch/klima/index.html?lang=de>)
- [Bodenfeuchtemessnetz Luzern](https://uwe.lu.ch/themen/bodenschutz/bodenfeuchte) (hyperlink zu <https://uwe.lu.ch/themen/bodenschutz/bodenfeuchte>)
- [Bodenfeuchte Uri](http://www.boden-uri.ch/) (hyperlink zu <http://www.boden-uri.ch/>)
- isb.swissrivers.ch

[> home](#)