

Anpassungen der Landwirtschaft an den Klimawandel

Trockenheit – Früherkennung und Lösungsansätze

Trockenheit in der Landwirtschaft
Grundlagenerhebung und Zustandsbericht

Impressum

Amt für Landwirtschaft

Kanton Solothurn
Hauptgasse 72
4509 Solothurn
Telefon 032 627 25 02
alw.info@vd.so.ch

Amt für Umwelt

Kanton Solothurn
Werkhofstrasse 5
4509 Solothurn
Telefon 032 627 24 47
afu@bd.so.ch

Autorinnen und Autoren

Jennifer Jauch	Amt für Landwirtschaft, Fachbereich Natürliche Ressourcen
Norbert Emch	Amt für Landwirtschaft, Fachbereich Natürlich Ressourcen
Urs Kilchenmann	Amt für Landwirtschaft, Fachbereich Boden- und Pachtrecht
Annika Winzeler	Amt für Landwirtschaft, Abteilung Agrarpolitische Massnahmen
Martin Heeb	Amt für Umwelt, Abteilung Koordination
Gabriel Zenklusen	Amt für Umwelt, Amtsleitung
Gaby von Rohr	Amt für Umwelt, Abteilung Boden
Claude Müller	Amt für Umwelt, Abteilung Wasser
Katja Schobert	Amt für Umwelt, Abteilung Wasserbau

Inhalt

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	4
1. EINLEITUNG	5
2. AUSGANGSLAGE UND RAHMENBEDINGUNGEN	6
2.1. Ausgangslage bezüglich der Ressource Wasser	6
2.2. Solothurner Böden im Kontext der Bewässerung	8
2.3. Solothurner Landwirtschaft im Kontext der Bewässerung	11
3. GRUNDLAGEN	13
3.1. Modellierung der Wasserbilanz	13
3.1.1. Modellschema	13
3.1.2. Einfluss verschiedener Faktoren auf den Zusatzwasserbedarf	17
3.1.3. Ergebnis der Modellierung der Wasserbilanz und des Zusatzwasserbedarfs	19
3.2. Bewertung der Modellregionen im Hinblick auf die Bewässerung	23
3.3. Analyse der Bewässerung in der Landwirtschaft	26
3.3.1. Ökonomische Betrachtung der Bewässerung in der Landwirtschaft	26
3.3.2. Bewässerungstechnik	29
4. ZUKÜNFTIGE HANDLUNGSACHSEN	31
5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	33
QUELLENVERZEICHNIS	34
ANHANG	37

Abkürzungsverzeichnis

GSchG	Gewässerschutzgesetz (SR 814.20)
REF	Referenzszenario heute (Modellierung der Wasserbilanz)
MAX	Trockenheitsszenario Maximum, Jahr 2060 (Modellierung der Wasserbilanz)
EXT	Trockenheitsszenario Extrem, Jahr 2060 (Modellierung der Wasserbilanz)
mit KW	Modellierung der Wasserbilanz mit Kunstwiese als bewässerungswürdige Kultur (Modellierung der Wasserbilanz)
ohne KW	Modellierung der Wasserbilanz ohne Kunstwiese als bewässerungswürdige Kultur (Modellierung der Wasserbilanz)
BAS	Referenzstation Basel-Binningen (Modellierung der Wasserbilanz)
WYN	Referenzstation Wynau (Modellierung der Wasserbilanz)
LN	Landwirtschaftliche Nutzfläche
ALW	Amt für Landwirtschaft, Kanton Solothurn
AfU	Amt für Umwelt, Kanton Solothurn

1. EINLEITUNG

Der Regierungsrat hat im Hinblick auf den sich abzeichnenden Klimawandel einen Bericht *Klimawandel – Risiken, Chancen und Handlungsfelder* [1] erarbeiten lassen und mit Beschluss Nr. 2016/2033 am 22. November 2016 verabschiedet. Der Bericht zeigt auf, in welchen Bereichen sich der Kanton Solothurn an den unvermeidbaren Klimawandel anpassen muss. Mit dem Beschluss hat der Regierungsrat die kantonale Verwaltung beauftragt, den Aktionsplan mit insgesamt 36 Massnahmen umzusetzen. Darin enthalten sind auch die beiden folgenden Massnahmen L4 und W1, die sich mit der Thematik der zunehmenden Trockenheit auseinandersetzen:

- L4: Erarbeiten von Wassernutzungs- und Bewässerungskonzepten – Trockenheitsrisiko, Bewässerungsbedarf sowie Wasserdargebot ermitteln
- W1: Identifikation und Reduktion aktueller und künftiger Nutzungskonflikte bei Trockenheit – Wasserressourcen-Bewirtschaftung

Der Hitzesommer 2018 sorgte für weitere Diskussionen, auch in der Politik. Eine Interpellation von Frau Kantonsrätin Marie-Theres Widmer griff das Thema auf und forderte Antworten vom Regierungsrat zu den Konsequenzen für die Landwirtschaft, die aus der Trockenheit gezogen werden. Im diesbezüglichen Regierungsratsbeschluss Nr. 2019/38 vom 15. Januar 2019 [2] hat der Regierungsrat u.a. auf die entsprechenden Handlungsfelder aus dem kantonalen Klimabericht sowie auf die laufenden nun vorliegenden Grundlagen hingewiesen.

Um die Massnahmen aus dem Klimabericht zu konkretisieren, haben das Amt für Landwirtschaft (ALW) und das Amt für Umwelt (AfU) im Frühjahr 2018 gemeinsam eine Projektskizze "*Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel, Trockenheit – Früherkennung und Lösungsansätze*" erarbeitet.

Das Hauptziel des Projekts ist die Erarbeitung eines Konzepts zum Umgang mit Sommertrockenheit und Wasserknappheit für die Solothurner Landwirtschaft. Bei drohender Wasserknappheit soll der Kanton effizient reagieren können. Das Projekt ist in zwei Etappen gegliedert:

- **Etappe 1:** Das Ziel der ersten Etappe ist die Erarbeitung von Grundlagen für die Wassernutzung und die Bewässerung in der Landwirtschaft. Dafür wurden im Hinblick auf die zunehmenden Trockenphasen und die Wasserknappheit die besonders gefährdeten Gebiete eruiert. Ausserdem wurde geklärt, wie hoch der heutige Wasserverbrauch für die Bewässerung in der Landwirtschaft ist und wie hoch das heutige und mögliche künftige Wasserdargebot aufgrund von Niederschlägen ist.
- **Etappe 2:** Das Ziel der zweiten Etappe ist die Ausarbeitung eines Lösungskonzepts zum Umgang mit Wasserknappheit in den besonders gefährdeten Gebieten.

Status des vorliegenden Berichts

Der vorliegende Bericht gibt einen Überblick über die aktuellen Grundlagen zum Thema Trockenheit in der Landwirtschaft. Ein Teil der Grundlagen war bereits vorhanden und wurde in den Kontext dieses Projekt eingearbeitet, ein Teil wurde im Rahmen der ersten Etappe neu erarbeitet. Das Thema Trockenheit und Bewässerung in der Landwirtschaft wurde von verschiedenen Seiten betrachtet und diskutiert. Die Ergebnisse und Bewertungen beziehen sich auf verschiedene Modellregionen, in die der Kanton eingeteilt wurde. Dieser Bericht ist eine erste grobe Einschätzung des Amtes für Landwirtschaft und des Amtes für Umwelt zur Trockenheit in der Landwirtschaft heute und in Zukunft. Es können keine spezifischen, kleinräumigen Aussagen getroffen werden.

Der Bericht ist in 4 Abschnitte unterteilt: Die Ausgangslage und Rahmenbedingungen im Hinblick auf die Ressourcen Wasser und Boden sowie die Landwirtschaft werden in Kapitel 2 dargestellt. Darauf folgt in Kapitel 3 eine Zusammenfassung der erarbeiteten Grundlagen und die Analyse und Bewertung der Erkenntnisse basierend auf den Modellregionen. Daraus abgeleitete Handlungsfelder werden in Kapitel 4 beschrieben. Ein Ausblick über das weitere Vorgehen schliesst diesen Bericht ab.

2. AUSGANGSLAGE UND RAHMENBEDINGUNGEN

2.1. Ausgangslage bezüglich der Ressource Wasser

Die mögliche Entwicklung des Klimas in der Schweiz haben Forscher unter der Leitung von ETH Zürich und MeteoSchweiz im Jahr 2018 veröffentlicht [3]. In den Klimaszenarien CH2018 beschreiben sie, wie sich unser Klima bis Mitte dieses Jahrhunderts und darüber hinaus verändern kann.

Steigt der Ausstoss von Klimagasen ungebremst weiter an (Szenarium «ohne Klimaschutz»), so werden die Temperaturen im Mittelland um weitere 2 bis 3 °C ansteigen, bis Ende Jahrhundert gar um 4 bis 6 °C. Gelingt hingegen eine rasche und weltweite Senkung des Treibhausgasausstosses, so kann die zusätzliche Erwärmung auf wahrscheinlich 0.6 bis 1.8 °C begrenzt werden. Fast analoge Temperaturentwicklungen wie im Mittelland werden für Gebiete im Jura erwartet.

Die Veränderungen der Temperaturen, aber auch des Niederschlages, haben starke Auswirkungen auf den Wasserhaushalt des Kantons Solothurn. Einige wichtige Auswirkungen sind in Abbildung 1 zusammengefasst.

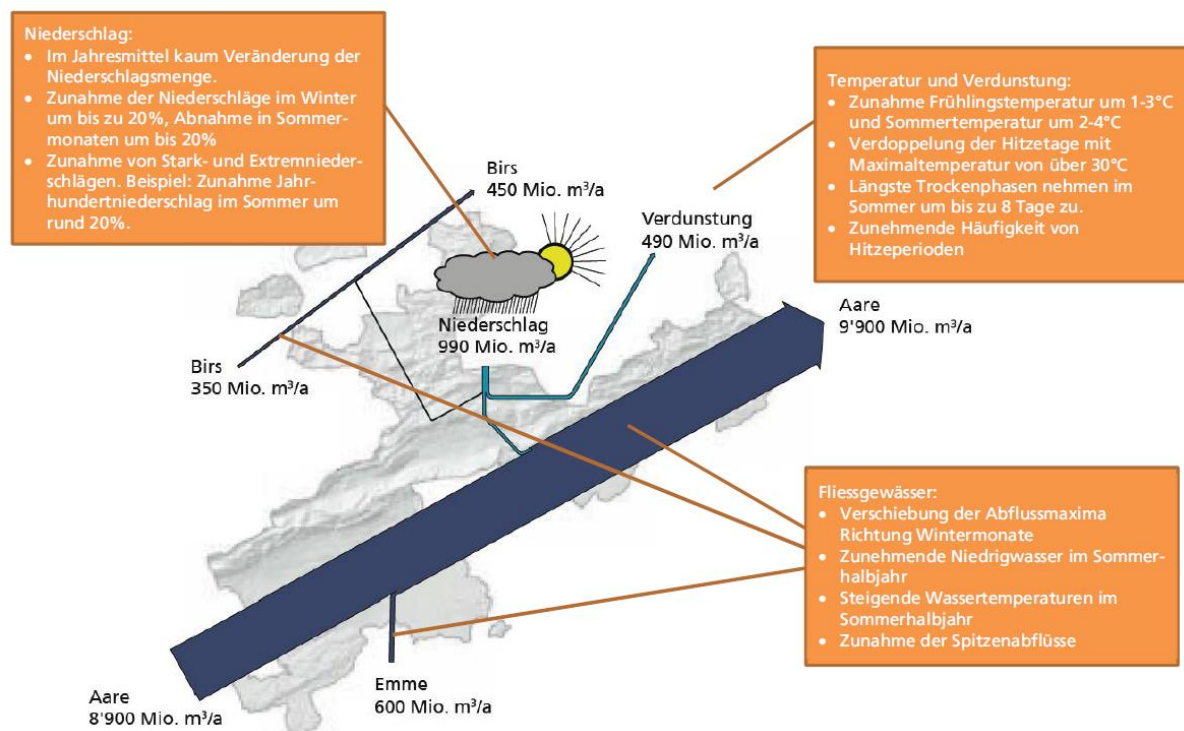


Abbildung 1: Beispiele von Einflüssen des Klimawandels auf die heutige Wasserbilanz des Kantons Solothurn bis 2060 (ohne Klimaschutz), verglichen mit der Normperiode 1981-2010 [3, 4, 5].

Heute verfügt der Kanton Solothurn im Jahresmittel über eine positive Wasserbilanz: Der Niederschlag, der über dem Kantonsgebiet fällt, ist fast doppelt so hoch wie die Verdunstung. An dieser durchschnittlich positiven Bilanz wird sich auch zukünftig grundsätzlich nichts ändern, auch wenn die Verdunstung aufgrund der höheren Temperaturen zunehmen wird.

Problematisch wird allerdings zukünftig das Sommerhalbjahr, denn hier wirken verschiedene Effekte zusammen: Deutliche Abnahme der Niederschläge, weniger «Landregen» und vermehrte Starkniederschläge, längere und häufigere Trockenperioden mit höheren Temperaturen. Dies führt dazu, dass im Sommer zukünftig die kantonale Wasserbilanz häufig negativ sein wird. Eine Abschätzung von R. Weingartner für das Jahr 2085 (Sommer) zeigt dies beispielhaft auf (Abbildung 2):

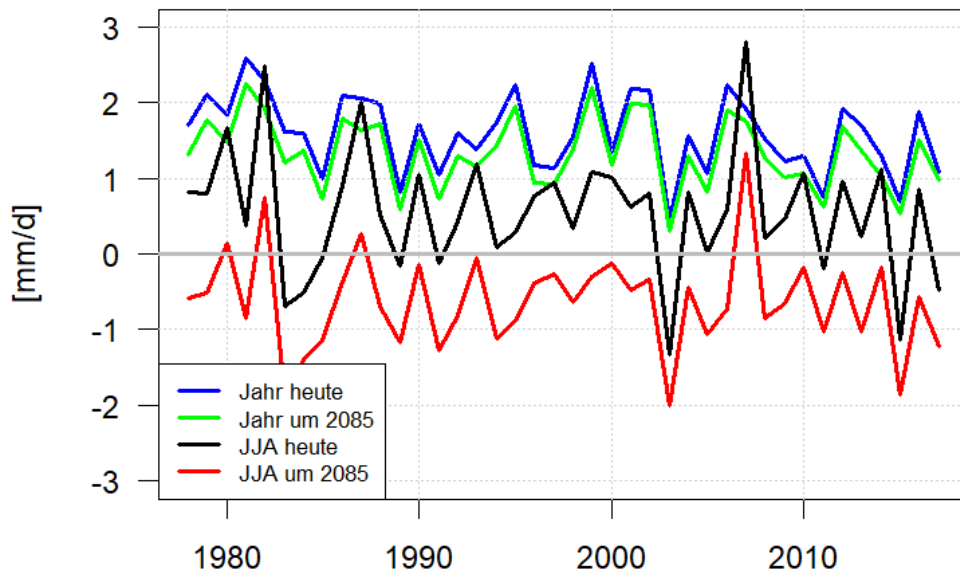


Abbildung 2: Abschätzung der klimatischen Wasserbilanz für den Kanton Solothurn bei den Verhältnissen in den Monaten Juni, Juli, August (JJA) des Jahres 2085 mit 20% weniger Niederschlag und 4.8°C höhere Temperaturen [5].

Für die Fliessgewässer haben die klimabedingten Änderungen weitreichende Folgen. Die abnehmenden Sommerniederschläge erhöhen die Häufigkeit und die Dauer von Niedrigwassersituationen. Gleichzeitig steigen aufgrund der höheren Sonneneinstrahlung die Wassertemperaturen in Bächen und Flüssen an. Steigen die Wassertemperaturen über 18 °C an, zeigen einige Fischarten Stresssymptome, weil in wärmerem Wasser der Sauerstoffgehalt sinkt. Wassertemperaturen über 23 °C können für gewisse Fische tödlich sein. Situationen, wie sie in Zukunft häufiger auftreten werden, konnten beispielsweise im Trockenjahr 2011 in der Dünern beobachtet werden (Abbildung 3):

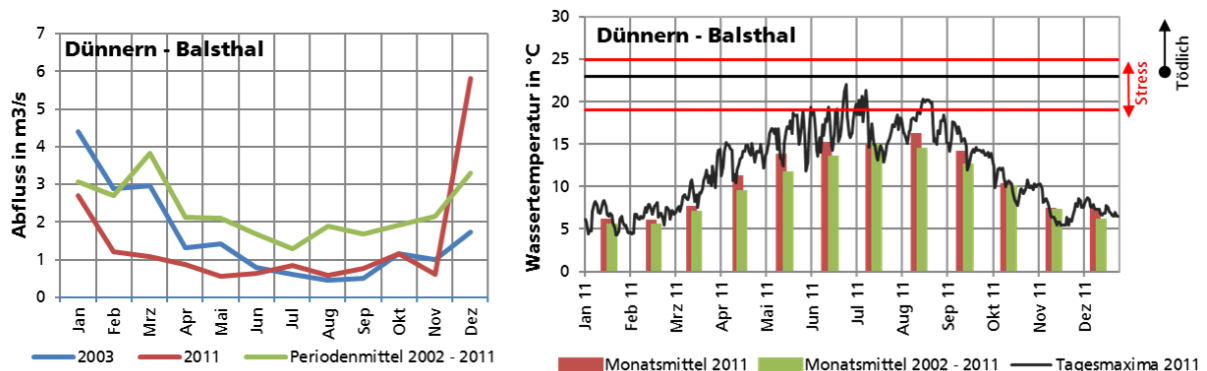


Abbildung 3: Die Dünern im Trockenjahr 2011 [6]. Links: Abflussmenge im Jahr 2011 im Jahresgang, verglichen mit dem Trockenjahr 2003 und dem Periodenmittel 2002-2011. Rechts: Tagesmaxima der Wassertemperaturen.

Der Kanton Solothurn ist reich an Grundwasser. Es gibt drei verschiedene Arten von Grundwasserleitern:

- Die bedeutendsten Grundwasservorkommen des Kantons befinden sich in den schottergefüllten Talebenen der Aare, der Emme, der Dünern und der Birs.
- In den Karstgrundwasserleitern des Juras zirkuliert das Wasser in zahlreichen verschlungenen Höhlen und Klüften.
- Im Bucheggberg zirkuliert das Grundwasser in Klüften und vereinzelt in Poren des Sandsteins.

Die Grundwasserleiter werden hauptsächlich vom Niederschlag - in den Talebenen auch von den Fließgewässern (In-/Exfiltration) und von den Talflanken - gespeist. Lange Trockenphasen, geringe Wasserführung von Fließgewässern und hohe Verdunstung führen zumindest vorübergehend zum Absinken der Grundwasserspiegel. Dies haben auch die Trockenjahre 2003 und 2018 deutlich aufgezeigt (Abbildung 4). Die ausgiebigen Winterniederschläge haben aber jeweils dazu geführt, dass sich die Grundwasserpegel wieder erholen konnten. Die Auswirkungen der klimatischen Veränderungen auf die Grundwasservorkommen des Kantons müssen allerdings noch weiter untersucht werden.

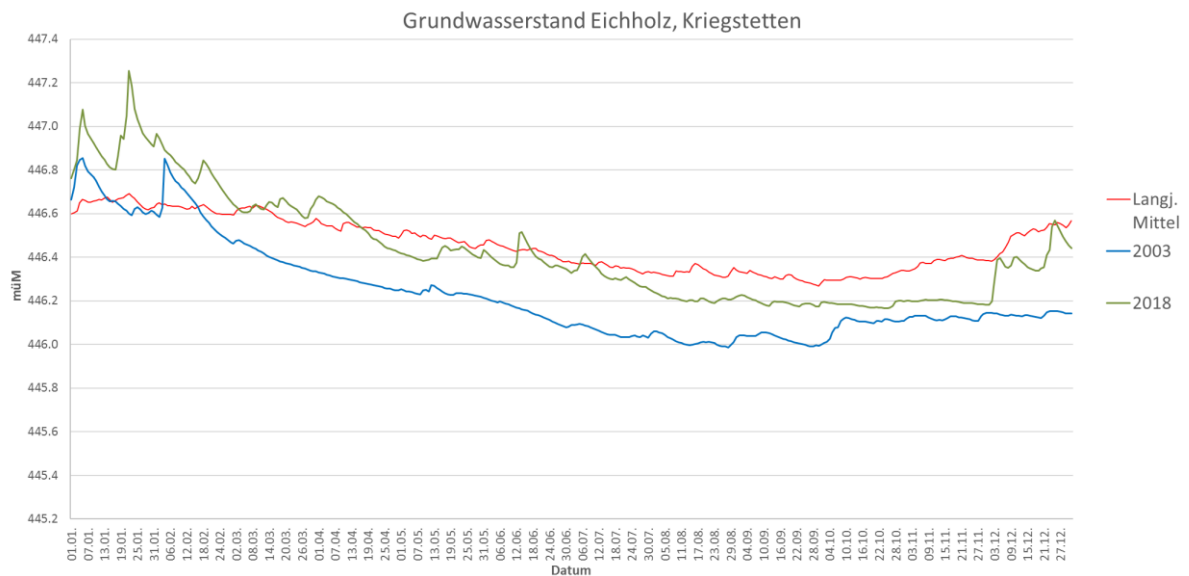


Abbildung 4: Grundwasserstand an der Messstation Eichholz in den Trockenjahren 2003 und 2018 [7].

2.2. Solothurner Böden im Kontext der Bewässerung

Die landwirtschaftlich genutzten Böden im Kanton Solothurn sind sehr vielfältig und nehmen mit ihren zentralen Bodeneigenschaften, insbesondere dem Wasserspeichervermögen, eine wichtige Funktion für die Bewässerung ein. Mit den für die meisten Ackerbaugebiete im Kanton vorhandenen Bodenkarten [8], besonders den Karten zum Wasserhaushalt und zum pflanzennutzbaren Wasservorrat im Boden (Abbildung 5), sowie dem Bodenmessnetz Nordwestschweiz [9] sind für eine künftig nachhaltige Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen gute Grundlagen vorhanden.

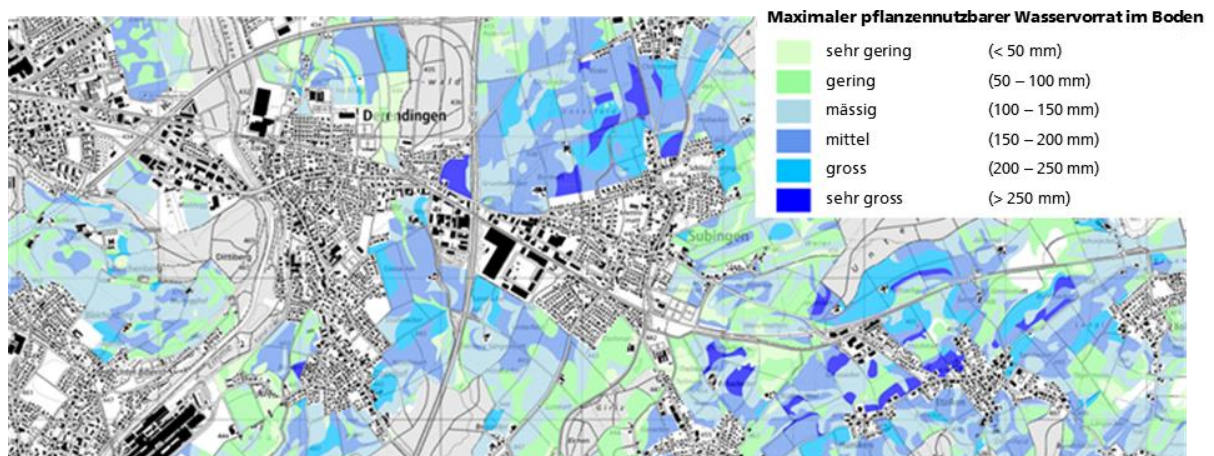


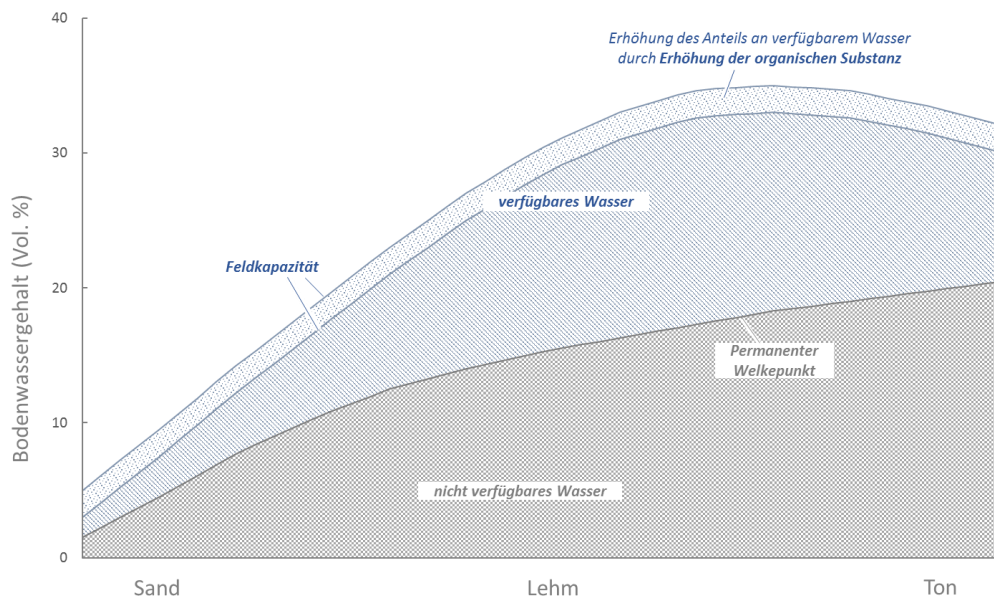
Abbildung 5: Bodeninformation Landwirtschaft, Ausschnitt des maximalen pflanzennutzbaren Wasservorrats im Boden im Raum Derendingen bei Solothurn [8].

Mit dem aktuell laufenden Ressourcenprogramm Humus [10] werden die Ackerbauern im Kanton zu dem für die Bodenfruchtbarkeit wichtigen Humusgehalt der Böden sensibilisiert. Das Ziel ist, den Humusgehalt als wichtigen Faktor für die Verbesserung des Wasserspeichervermögens der Böden mindestens zu erhalten und sogar zu erhöhen.

Die Fähigkeit eines Bodens Wasser zu speichern und nachzuliefern, hängt von verschiedenen Bodeneigenschaften, wie Bodenart, Humusgehalt, Lagerungsdichte oder Bodentiefe, ab. Sie bestimmen die Menge und Grösse der Poren, die mit Wasser oder Luft gefüllt sind. Auf das Wasser in den Poren wirken unterschiedliche Kräfte: Die Schwerkraft lässt Wasser in die Tiefe versickern, während die Saugspannung Wasser entgegen der Schwerkraft in den Poren hält. Die Grösse der Poren bestimmt, welche Kräfte wirksam sind und welche Funktion sie im Wasserhaushalt einnehmen [11]:

- Grobporen: Wasserversickerung und Gasaustausch
- Mittelporen: Speicherung von pflanzenverfügbarem Wasser
- Feinporen: Speicherung von nicht pflanzenverfügbarem Wasser

Die Porengrössenverteilung eines Bodens wird vor allem durch die Bodenzusammensetzung (Bodenart) und die Strukturbildung (Bodenentwicklung / -bewirtschaftung) bestimmt. Sandböden können aufgrund des hohen Grobporenanteils nur wenig Wasser speichern. Tonböden hingegen können viel Wasser in ihren Feinporen speichern. Dieses ist aber zu stark gebunden, um den Pflanzen zur Verfügung zu stehen. In beiden Fällen steht daher den Pflanzen wenig Wasser zur Verfügung. Lehmböden besitzen das grösste Speichervermögen für pflanzenverfügbares Wasser, da sie einen grossen Anteil an Mittelporen besitzen (Abbildung 6) [12].



Feldkapazität	Menge an Wasser, die ein Boden entgegen der Schwerkraft halten kann
Nicht verfügbares Wasser	Wasser, welches zu stark in den Feinporen gebunden ist, um von den Pflanzen aufgenommen werden zu können (auch Totwasser genannt)
Permanenter Welkepunkt	Zustand, bis zu dem die Pflanzen dem Boden Wasser entziehen können
Pflanzenverfügbares Wasser	Wassermenge zwischen der Feldkapazität und dem permanenten Welkepunkt (auch nutzbare Feldkapazität genannt)

Abbildung 6: Pflanzenverfügbares Wasser verschiedener Böden (eigene Abbildung nach [13, 14]).

Eine standortangepasste, bodenschonende und humusfördernde Bewirtschaftung stärkt zudem die Widerstandsfähigkeit der Böden gegenüber zunehmenden Trockenphasen und öfter auftretenden Extremereignissen [15]. Die Wasserspeicherfähigkeit eines Bodens mit guter Struktur und Durchwurzelung ist deutlich höher, als bei einem verdichteten, zu Erosion neigenden Boden.

Eine nachhaltige und wassersparende Bewässerung ist im Zuge des Klimawandels besonders wichtig. Ein gezielter Start- und Endzeitpunkt hilft, die Bewässerung zu optimieren und zu verhindern, dass Kulturen unter Trockenstress oder Sauerstoffmangel leiden. Dabei gibt es verschiedene Parameter und Berechnungen, die für die Ermittlung der Bewässerungszeitpunkte herangezogen werden können, wie beispielsweise die Bodensaugspannung [16, 17] oder die relative Evapotranspiration [16]. Im Bodenmessnetz Nordwestschweiz wird laufend die Saugspannung in zwei Tiefen gemessen [9]. Im Bewässerungsnetz der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften in Zollikofen wird der Bewässerungszeitpunkt via Messung des Wassergehaltes im Boden bestimmt [18]. Bodensonden zur Steuerung der Bewässerung werden in der Tiefe des Hauptwurzelbereichs der jeweilig angebauten Kultur installiert. Dieser liegt je nach Kultur in unterschiedlicher Tiefe: Während Kopfsalat oder Kartoffeln nur eine geringe Durchwurzelungstiefe (bis ~ 30 bzw. 40 cm Tiefe) aufweisen, können Gurken und Tomaten mit einem Hauptwurzelbereich von 30 bis 60 cm Tiefe auch Wasser aus tieferen Bodenschichten nutzen. Die Wurzeln von Mais, Getreide oder Zuckerrüben gehen weitaus tiefer in den Boden und können daher ein noch grösseres Bodenvolumen für die Deckung des Wasserbedarfs nutzen. Bei Setzlingen muss die noch geringe Wurzeltiefe bei der Bewässerung beachtet werden [19].

Mit der Bewässerung können insbesondere bei feinkörnigen Boden Verschlümmungen sowie Verstopfungen des Porensystems auftreten. Damit wird die Infiltrationsfähigkeit und Wasserspeicherfähigkeit des Bodens negativ beeinflusst, womit insbesondere in Hanglagen auch Erosionsereignisse auftreten können. Diese negativen Effekte sind zur Aufrechterhaltung der Bodenfunktionen mit gezielten Massnahmen zu vermeiden. Es stehen folgende Bewirtschaftungsanpassungen im Vordergrund:

- Mechanisches Hacken z. B. im Gemüsebau, bei gut abgetrocknetem Boden.
- Gute Humuswirtschaft.
- Geregelter Fruchtfolgen mit Einbezug von mehrjährigen Kunstwiesen als Gesundheitsfrucht.

Damit können folgende positive Effekte erzielt werden:

- Die durch Verschlümmung beeinträchtigte Infiltrationsfähigkeit wird verbessert.
- Der Kapillaraufstieg wird verbessert und damit auch der Wasserhaushalt des Bodens.
- Der verbesserte Wasserhaushalt des Bodens fördert das Tiefenwachstum der Wurzeln.
- Mit der Durchlüftung des Bodens wird Stickstoff (bis zu 30 kg/ha) mineralisiert.
- Mit Kunstwiesen kann der Humusgehalt und die Bodenstruktur verbessert werden.

Im Kanton Solothurn sind auf rund 7'000 ha landwirtschaftlich genutzter Böden, meist Fruchtfolgeflächen, Flurenwässerungen (Drainagen) vorhanden [20]. Die oft vor Mitte des letzten Jahrhunderts erstellten Werke dienten zum Zeitpunkt der Erstellung vorwiegend der Entwässerung und somit Nutzbarmachung als Wies- und Ackerland. Bei starken Niederschlägen wird das überschüssige Wasser aus dem drainierten Kulturland, meist im natürlichen Gefälle, aus dem Boden abgeführt und in die Oberflächengewässer eingeleitet. Im Kontext der sich abzeichnenden Auswirkungen des Klimawandels und künftigen Trockenzeiten sind deshalb die Möglichkeiten eines optimierten Eingriffes in den Wasserhaushalt zu prüfen. Denkbar wären "smarte Drainagen" welche einerseits eine Entwässerungs- aber gleichzeitig auch eine Bewässerungsfunktion wahrnehmen würden. Dies zur Schonung der wertvollen Ressource Wasser.

Der Kanton Solothurn betreibt seit 1996 die kantonale Bodenkartierung. Aktuell sind gut ein Drittel der land- und forstwirtschaftlich genutzten Böden im Kanton Solothurn im Masstab 1:5'000 kartiert. Folgende Regionen sind erfasst: Niederamt (ohne Jura), Gäu/Untergäu (ohne Born und Jura), Wasseramt, der Bucheggberg inklusive Limpachtal. Dazu kommen im Jura respektive im Leimental die Gemeinden Witterswil/Bättwil und Teile von Gempfen, Welschenrohr sowie Breitenbach und Büsserach, die im Rahmen von Güterregulierungen gemäss Solothurner Methodik kartiert wurden. Bereits für einen grossen Teil der Ackerbaugebiete liegen somit wertvolle Bodeninformationen vor, die es erlauben, einen Überblick über die naturräumlichen Eigenheiten dieser Regionen und die dadurch geprägten, charakteristischen regionalen Bodengesellschaften zu geben, insbesondere auch über die Wasserspeicherfähigkeiten und den pflanzennutzbaren Wasservorrat der Böden [21].

2.3. Solothurner Landwirtschaft im Kontext der Bewässerung

Die Folgen der globalen Erwärmung sind auch in der Landwirtschaft sichtbar. Gestützt auf den Agrarbericht 2019 [22] führen die Veränderungen des Klimas zu einer Verschiebung der Gunsträume für die landwirtschaftliche Produktion. Dies kann sowohl positive Auswirkungen, wie die Verlängerung der Vegetationsperiode, als auch negative Aspekte, wie ein erhöhter Schädlingsdruck infolge milder Winter, mit sich bringen. Die steigende Witterungsvariabilität hat ein erhöhtes Risiko für Schäden durch Extremereignisse zur Folge. So sorgte der regnerische Frühling 2016 wegen dem starken Auftreten von Pilzkrankheiten für eine schlechte Weizenernte, im Frühjahr 2017 wurden aufgrund des starken Frosts grosse Schäden im Obst- und Weinbau verzeichnet und Starkniederschläge erhöhen das Erosionsrisiko.

Vor allem die zunehmende Sommertrockenheit bekam die Landwirtschaft in den letzten Jahren immer häufiger zu spüren. Nach dem Rekordsommer von 2003 folgten weitere aussergewöhnliche trockene und warme Sommer in den Jahren 2015 und 2018. Vor allem dem Futterbau und der Tierhaltung setzen diese Umstände stark zu. Im Jura war 2018 bereits das vierte Jahr in Folge, in dem die Landwirtschaft von Wasserknappheit betroffen war.

Um die negativen Folgen des Klimawandels abzufedern, muss sich die Landwirtschaft an den Klimawandel, die zunehmenden Trockenphasen und Extremereignissen anpassen. Dafür stehen den Landwirten verschiedene Strategien und Massnahmen zur Verfügung (Abbildung 7). Neben der Förderung des Humusgehalts und schonender Bodenbearbeitung, die das Wasserspeichervermögen des Bodens verbessern, ist auch die Wahl von trocken- und hitzeresistenten Sorten eine Möglichkeit sich dem Klimawandel anzupassen. Auch alternative Anbausysteme wie die Agroforstwirtschaft können helfen, Trockenphasen gut zu überstehen.



Abbildung 7: Anpassungsmöglichkeiten der Landwirtschaft an den Klimawandel (eigene Darstellung nach [23], [a]).

Durch vorausschauende Anpassung an die klimatischen Veränderungen kann die Landwirtschaft die negativen Folgen auf Kulturen und Erträge abfedern. Zunehmende Anfragen für die kantonale Unterstützung von Bewässerungsinfrastruktur sind die Folge. Gestützt auf Art. 14 Abs. 1 Bst c der Verordnung über die Strukturverbesserungen in der Landwirtschaft vom 7. Dezember 1998 [24] gewährt der Bund Beiträge für "Massnahmen zur Erhaltung und Verbesserung der Struktur und des Wasserhaushaltes des Bodens". Damit können unter anderem Infrastrukturen für die Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen zur Ertragssicherung unterstützt werden. Folgende Aspekte sind dabei zu beleuchten:

- *Bewässerungsmachbarkeit*: Wasservorkommen und –qualität, Wasserefassung und –bezug, Synergien mit anderen Nutzungen, Auswirkung auf Natur, Landschaft und Gewässer
- *Bewässerungsbedürftigkeit*: klimatologische Aspekte, Trockenheitsrisiko, vegetations-spezifische Wasserbedarfsberechnung
- *Bewässerungswürdigkeit*: pedologische Aspekte, Markt- und Ertragsituation, Kosten/Nutzen-Betrachtung
- *Effizienz der Bewässerung*: strategische und organisatorische Aspekte, Einsatz von Vorher-sageinstrumenten und bedarfsgesteuerten Anlagen, Verwendung von ressourcen-schonenden Technologien, wie energie- und wassersparende Verteiltechniken

Analyse und Bewertung der Bewässerung in der Landwirtschaft

Während der ersten Etappe des Projekts *Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel, Trockenheit – Früherkennung und Lösungsansätze* wurde eine Modellierung der Wasserbilanz durchgeführt, um die durch Trockenheit besonders gefährdeten Gebiete des Kantons zu eruieren. Um einen umfassenderen Überblick über das Trockenheitsrisiko und die Bewässerung in der Solothurner Landwirtschaft zu bekommen, wurden im Rahmen des vorliegenden Zustandsberichts weitere, bereits vorhandene Grundlagen zusammengetragen und im Hinblick auf den Klimawandel, die zunehmenden Trockenphasen und Extremereignisse analysiert und bewertet. Insgesamt wurde die Thematik aus den folgenden vier Perspektiven bewertet:



Abbildung 8: Bewertung des Trockenheitsrisikos und der Bewässerungssituation im Kanton Solothurn aus vier Perspektiven [b].

Für die Modellierung der Wasserbilanz und Analyse der Wasserknappheit wurde der Kanton in 10 Modellregionen unterteilt. Auch bei der Betrachtung der weiteren Perspektiven wurde die Unterteilung in diese Modellregionen herangezogen. Die im Rahmen dieses Berichts gemachten Bewertungen lassen nur allgemeine Aussagen auf Stufe Modellregion zu. Die Aussagen können nicht auf eine kleinräumigere Ebene übertragen werden.

Im Folgenden werden zunächst die Modellierung der Wasserbilanz erläutert und deren Ergebnisse analysiert (Kap. 3.1). Anschliessend wird jede Modellregion aus den oben genannten Perspektiven *Wasserknappheit*, *Bewässerungsfläche*, *Wasserressourcen* und *Bodenressourcen* betrachtet und bewertet (Kap. 3.2). Die Effizienz der Bewässerung wurde im Rahmen des Zustandsberichts nicht betrachtet. Jedoch wurden Informationen dazu im Kapitel 3.3 zusammengetragen.

3. GRUNDLAGEN

3.1. Modellierung der Wasserbilanz

Um herauszufinden, welche Gebiete im Kanton Solothurn im Hinblick auf den Klimawandel und die zunehmende Sommertrockenheit besonders gefährdet sind, wurde die Wasserbilanz im gesamten Kanton modelliert. Für die Modellierung wurde das Ingenieurbüro Egli Engineering AG, St. Gallen beauftragt (RRB Nr. 2018/1823 vom 27. November 2018). Die Details zum Modellschema und der Modellierung können dem Resultatbericht von Egli Engineering entnommen werden [25]. Im Folgenden werden das Modellschema grob skizziert und die wichtigsten Ergebnisse und Interpretationen aufgeführt.

3.1.1. Modellschema

Für die Modellierung der Wasserbilanz wurden das Wasserdargebot und der Zusatzwasserbedarf berechnet:

$$\text{Wasserbilanz} = \text{Wasserdargebot} - \text{Zusatzwasserbedarf}$$

Der Zusatzwasserbedarf zeigt auf, wie viel Wasser die angebauten, als bewässerungswürdig eingestuft Kulturen zusätzlich zum normalen Niederschlag für ein optimales Wachstum benötigen. Das Wasserdargebot ist die aufgrund der Niederschläge geschätzte Abflussmenge, die pro Modellregion für die Bewässerung zur Verfügung steht, ohne dass die Bestimmungen des Gewässerschutzgesetzes (GSchG), insbesondere die Restwasserbestimmungen in Oberflächengewässern, verletzt werden. Für die Berechnung der Wasserbilanz wird vom Wasserdargebot der Zusatzwasserbedarf abgezogen. Positive Ergebnisse der Wasserbilanz weisen darauf hin, dass das Wasserdargebot für ein optimales Wachstum der bewässerungswürdigen Kulturen grundsätzlich ausreicht. Unter bestimmten Umständen, beispielsweise bei intensivem Niederschlag in sehr kurzer Zeit, kann es jedoch auch bei einer positiven Wasserbilanz dazu kommen, dass der Zusatzwasserbedarf nicht vollumfänglich gedeckt werden kann. Ebenfalls nicht berücksichtigt wird zudem, dass bei Starkniederschlägen unter Umständen ein Grossteil des gefallenen Niederschlags via Oberflächengewässer rasch abfließt und für die landwirtschaftlichen Kulturen nicht genutzt werden kann.

Die Modellierung wurde für drei **Szenarien**¹ berechnet (Abbildung 9): Das Referenzszenario Referenz (REF) für die Gegenwart und die beiden Trockenheitsszenarien Maximum (MAX) und Extrem (EXT) für das Jahr 2060.

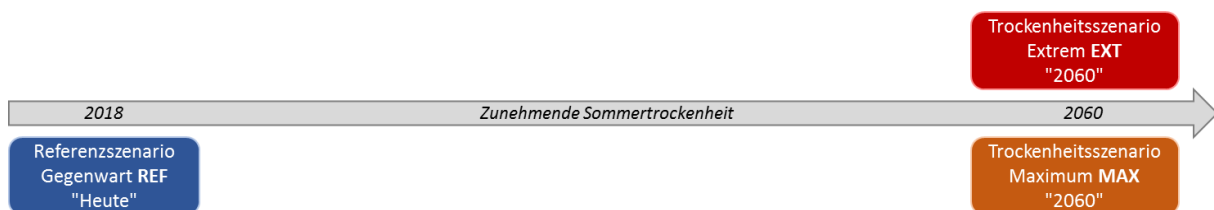


Abbildung 9: Darstellung der drei Trockenheitsszenarien.

Für die Modellierung wurde der Kanton in 10 **Modellregionen** unterteilt, die den Einzugsgebieten der Oberflächengewässer folgen und an Agrarlandschaftstypologien und Bezirksgrenzen angelehnt sind (Abbildung 10). Das Wasserdargebot und der Zusatzwasserbedarf wurden für jede Modellregion berechnet.

¹ siehe dazu Erläuterung in Tabelle 1

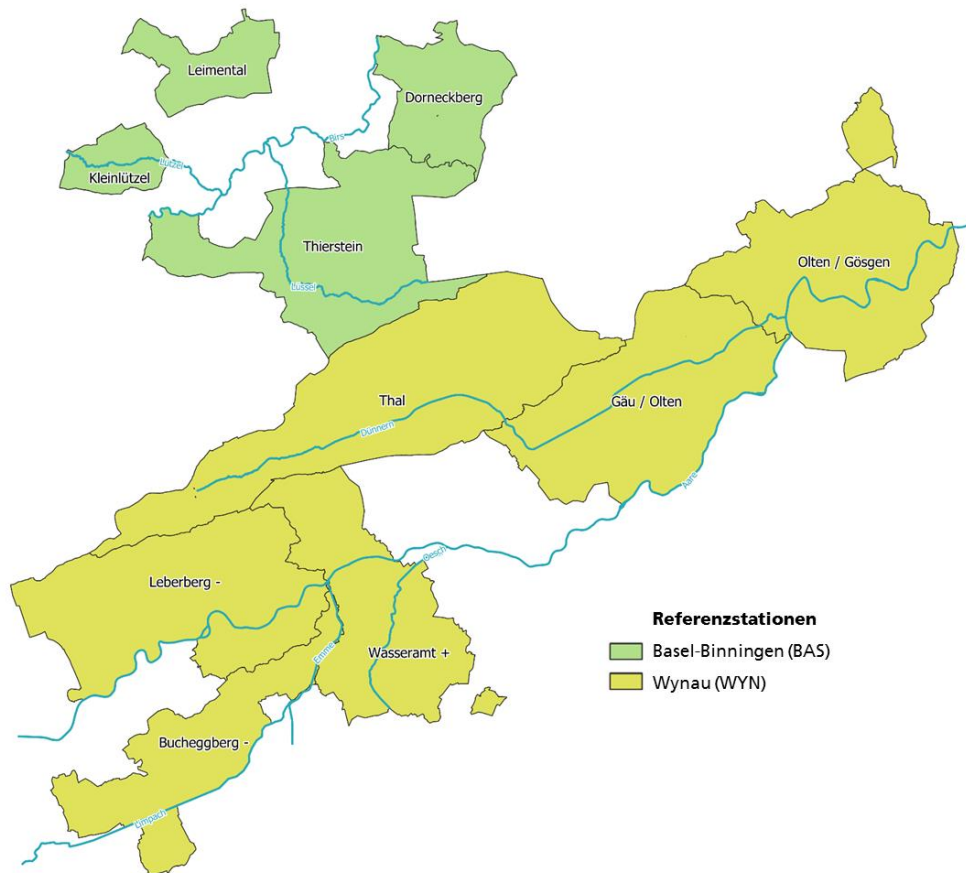


Abbildung 10: Darstellung der Modellregionen und Zuteilung zu den Klimastationen Basel-Binningen und Wynau.

Für die Trockenheitsszenarien wurde das mittlere **Klimaszenario** A1B aus den Klimamodellierungen CH2011 verwendet. Dieses geht davon aus, dass sich die jahreszeitliche Mitteltemperatur bis 2060 um etwa 1.1 bis 3.5 °C erhöht und die Sommerniederschläge um 10-15 % zurückgehen.

Sowohl für die Berechnung des Wasserdargebots als für die des Zusatzwasserbedarfs wurden verschiedene Eingangsdaten verwendet. Ein vereinfachtes Modellschema (Abbildung 11) zeigt, welche Daten für die Modellierung der Wasserbilanz herangezogen wurden:

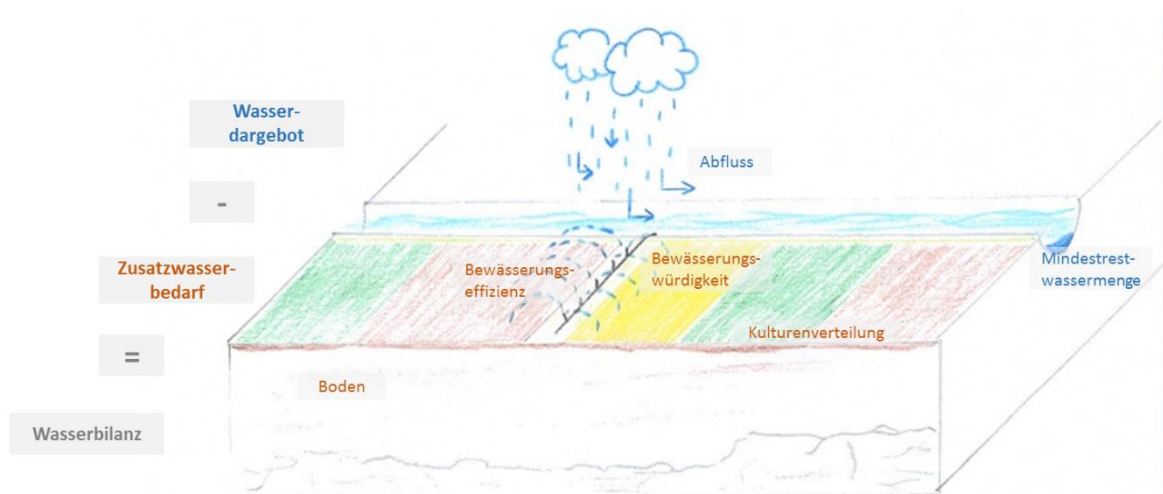


Abbildung 11: Vereinfachtes Modellschema zur Wasserbilanz. Blaue Schrift: Eingangsdaten für das Wasserdargebot. Orangene Schrift: Eingangsdaten für den Zusatzwasserbedarf.

Eingangsdaten Wasserdargebot

Geschätzter mittlerer Abfluss (MQ-CH)

Für die geschätzte Abflussmenge pro Modellregion wurden Daten des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verwendet. Dieses hat für 3 Zeitintervalle den mittleren natürlichen Abfluss berechnet: Gegenwart (1980-2009), nahe Zukunft (2021-2050) und ferne Zukunft (2070-2099). Diese wurden auf die drei Szenarien übertragen. Für die Zukunftsszenarien MAX und EXT wurden die Abflussdaten um einen Faktor gemindert, um den zunehmenden Trockenphasen Rechnung zu tragen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Beschreibung geschätzter mittlerer Abfluss (MQ-CH Daten) und Faktorminderung.

Szenario	geschätzter mittlerer Abfluss	Faktorminderung
REF	Gegenwart (1980 – 2009)	-
MAX	((Nahe Zukunft + Ferne Zukunft) / 2)	um 50 % (durchschnittlicher Abfluss der Trockenjahre 2003, 2011, 2015 und 2018)
EXT	((Nahe Zukunft + Ferne Zukunft) / 2)	um 70 % (Mittelwert des Abflusses der Trockenjahre 2003 und 2011)

Die Grundwasservorkommen wurden bei der Berechnung des Wasserdargebots nicht berücksichtigt. Zum heutigen Zeitpunkt spielt der Wasserbezug aus dem Grundwasser für die Landwirtschaft im Kanton Solothurn nur eine verschwindend kleine Rolle. Jedoch wird der Druck auf das Grundwasser mit zunehmenden Trockenphasen in Zukunft ansteigen.

Mindestrestwassermenge (Q347)

Gemäss Art. 31 GSchG darf bei der Wasserentnahme aus Fliessgewässern eine Mindestwassermenge² nicht unterschritten werden. Die Daten der Mindestrestwassermenge basieren auf Durchschnittswerten von Messstellen und Modellierungen pro Modellregion. Weil für eine landwirtschaftliche Bewässerung nur diejenigen Wassermengen zur Verfügung stehen, welche zusätzlich zur Restwassermenge abfliessen, wurden die pro Szenario berechneten Abflüsse um die Mindestrestwassermenge Q347 abgemindert. Der Wert der jeweiligen Restwassermenge ist für alle Szenarien derselbe.

Eingangsdaten Zusatzwasserbedarf

Die Berechnung des Zusatzwasserbedarfs beruht auf den Daten von Fuhrer und Smith [26]. Sie haben den monatlichen Zusatzwasserbedarf für diverse Kulturen berechnet: Beeren (Erdbeeren), Gemüse (Randen, Zwiebeln), Kartoffeln, Zuckerrüben, Obst (Kirschen, Zwetschgen, Äpfel), Reben, Mais, Weizen und Grünland (Wiesen, Weiden). Die Berechnungen wurde für drei Bodentypen, vier Klimasituationen und verschiedene Klimastationen durchgeführt. Für den Kanton Solothurn wurden die Klimastationen Basel-Binningen (BAS; Modellregionen *Thierstein*, *Dorneck*, *Leimental* und *Kleinlützel*) und Wynau (WYN; Modellregionen *Thal*, *Leberberg-*, *Wasseramt+*, *Bucheggberg-*, *Gäu/Olten* und *Olten/Gösigen*) verwendet (Abbildung 10).

Bodendaten

Die durch die Landwirtschaft genutzten Böden im Kanton wurden nach Fuhrer und Smith [26] in zwei Körnungsklassen klassifiziert: (a) toniger Lehm und (b) sandiger Lehm, jeweils mit einer Gründigkeit von 110cm. Zusätzlich wurde die Durchwurzelungstiefe 0-30 cm, 31-60 cm und grösser als 60cm klassifiziert. Wo vorhanden, wurden dafür die Daten der Bodenkartierung verwendet [21]. In den restlichen Gebieten wurde die Einteilung durch Experten des AfU und ALW vorgenommen.

² entspricht "Restwassermenge" oder "Q347": Abflussmenge eines Fliessgewässers, die nach einer oder mehrerer Entnahmen von Wasser nicht unterschritten werden

Räumliche Verteilung der Kulturen und Zusatzwasserbedarf

Für die räumliche Verteilung der Kulturen wurden die Daten aus der Agrardatenbank GELAN aus dem Jahr 2018 verwendet. Die Kulturen wurden in die 13 Kulturgruppen nach Fuhrer und Smith [26] klassifiziert. Zusätzlich wurden Annahmen für die Bewässerungswürdigkeit der Kulturen getroffen und diese danach eingestuft (Tabelle 2). Dabei wurden Kulturen, die für die Nahrungsmittelproduktion zentral sind, Kulturen mit hohem Wertschöpfungspotential (z.B. Gemüse, Obst) sowie der Mais als wichtiges Futtermittel und als Futterkultur mit dem besten Wassernutzungskoeffizienten, als bewässerungswürdig eingestuft. Die restlichen Kulturen wurden in die Gruppe der nicht bewässerungswürdigen Kulturen eingeteilt und dadurch in der Modellierung nicht berücksichtigt. Um den Einfluss von Kunstwiesen auf den Zusatzwasserbedarf und die Wasserbilanz festzustellen, wurde die Modellierung einmal mit Kunstwiesen als bewässerungswürdige Kultur (mit KW) und einmal ohne die Kunstwiesen (ohne KW) berechnet. Die für den Kanton Solothurn wichtigen Dauerwiesen sind als nicht bewässerungswürdig eingestuft (fast 2/3 der landwirtschaftlich nutzbaren Flächen). Es ist aber klar, dass in einem Trockenjahr mit grossen Futterausfällen zu rechnen ist.

Tabelle 2: Übersicht über die wichtigsten Acker- und Dauerkulturen und ihre Einstufung der Bewässerungswürdigkeit für die Modellierung der Wasserbilanz.

Annahme	
<u>bewässerungswürdige Kulturen</u>	<u>nicht bewässerungswürdige Kulturen</u>
- Brotgetreide	- Futtergetreide (Ausnahme Saatgetreide)
- Saatgetreide	- Rüben
- Körner- und Silomais	- Raps
- Kartoffeln	- Leguminosen, wie Erbsen und Ackerbohnen
- Ölsaaten, wie Soja und Sonnenblumen	- Weiden
- Gemüse	- Naturwiesen
- Obstanlagen	- Reben
- Beeren	
Kunstwiesen*	

* Modellierung mit Kunstwiesen als bewässerungswürdige (mit KW) und nicht bewässerungswürdige (ohne KW) Kultur

Faktor Bewässerungseffizienz

Fuhrer und Smith [26] gehen in ihren Daten zum Zusatzwasserbedarf davon aus, dass die Bewässerungseffizienz bei 100 % liegt. Da dies nicht der Realität entspricht, wurde ein Abminderungsfaktor einberechnet. Im Modell wurde von einer Bewässerungseffizienz³ von 60% ausgegangen.

Einordnung der Ergebnisse

Um die folgenden Ergebnisse der Wasserbilanz und des Zusatzwasserbedarfs in ein Verhältnis zu setzen, hilft der Vergleich dieser Werte mit einer Trinkwasserfassung oder dem Trinkwasserverbrauch. Im Durchschnitt liegt der Entzug einer Trinkwasserfassung im Kanton bei ca. 500'000 bis 1 Mio. m³/Jahr. Grössere Wasserversorgungen weisen einen Entzug von bis zu 2 Mio. m³/Jahr auf. Es werden rund 1 Mio. m³ Wasser benötigt, um 9'500 Einwohner*innen im Kanton Solothurn ein Jahr lang mit Trinkwasser zu versorgen. In den Trockenjahren 2011, 2015 und 2018 wurden im Kanton jährlich zwischen 28 und 30 Mio. m³ Trinkwasser verbraucht.

³ siehe dazu Erläuterung in Tabelle 8

3.1.2. Einfluss verschiedener Faktoren auf den Zusatzwasserbedarf

Die Wahl der Klimastation BAS (Modellregionen nördlich des Thal) und WYN (Modellregionen südlich und inklusive des Thal) beeinflusst das Ergebnis der Modellierung der Wasserbilanz. Der kumulierte Jahresniederschlag im Zeitraum von 1981 bis 2010 der Station WYN liegt mit 1129 mm um fast 300 mm höher als in BAS (842mm). In den Modellregionen südlich des Thal wird sowohl heute (REF) also auch in den Trockenheitsszenarien MAX und EXT mit höheren Niederschlägen gerechnet (Abbildung 12). Die Niederschläge in der Vegetationszeit variieren monatlich stark.

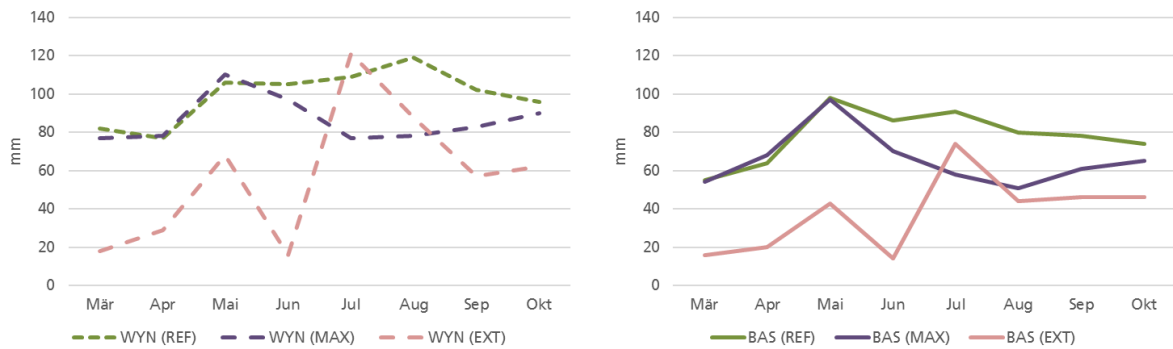


Abbildung 12: kumulierte Niederschläge der Klimastationen Wynau (WYN) und Basel-Binningen (BAS) für die drei Szenarien REF, MAX und EXT nach den Tabellen des Bewässerungsbedarfs von Fuhrer und Smith [26].

Neben den räumlich unterschiedlichen Niederschlägen im Kanton Solothurn beeinflusst auch der Anteil an bewässerungswürdigen Kulturen den Zusatzwasserbedarf der Modellregionen (Abbildung 13). In den Modellregionen *Leberberg-*, *Bucheggberg-*, *Wasseramt+* und *Gäu/Olten* ist der Anteil an bewässerungswürdigen Kulturen mit mehr als 30 % an der landwirtschaftlichen Nutzfläche am höchsten. Dabei wird mit rund 35 % bis 55 % vor allem Brot- und Saatgetreide als bewässerungswürdige Kultur angebaut, welche in den Monaten Juni und Juli am meisten Zusatzwasser benötigen. Die zweithäufigste Kultur ist der Mais mit rund 30 % bis 45 %. Dessen Wasserbedarf ist in den Monaten Juli bis September am höchsten. Die Modellregionen *Thal*, *Thierstein*, *Dorneck* und *Kleinlützel* haben mit weniger als 10 % den geringsten Anteil an bewässerungswürdigen Kulturen an der landwirtschaftlichen Nutzfläche. In diesen Modellregionen dominiert das Grünland (Natur-, Dauer- und Kunstwiesen).

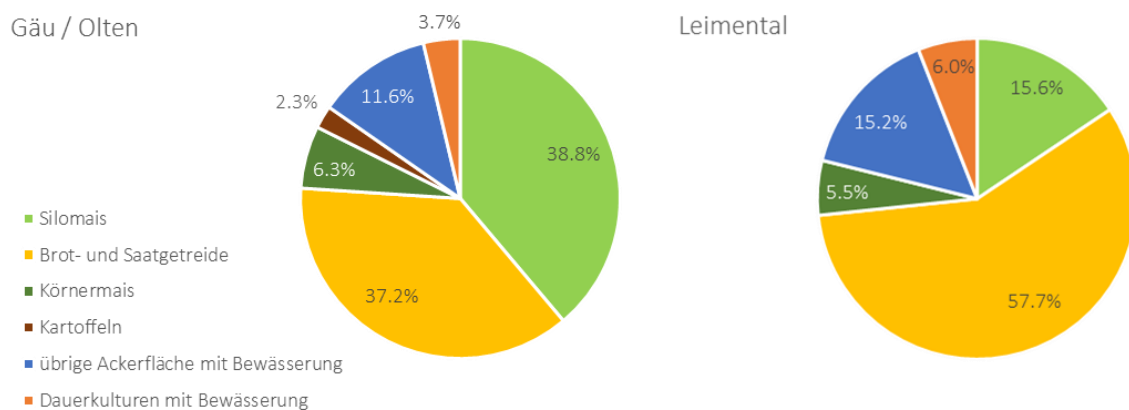


Abbildung 13: Anteil bewässerungswürdiger Kulturen in den Modellregionen *Gäu/Olten* und *Leimental* (ohne Kunstwiese als bewässerungswürdige Kultur)

Der Zusatzwasserbedarfs am Beispiel der Modellregionen *Gäu/Olten* (WYN) und *Leimental* (BAS) zeigt - unabhängig von der Höhe des Bedarfs - den Einfluss der als bewässerungswürdig eingestuft Kulturen (Abbildung 14). In der Modellregion *Gäu/Olten* werden im Trockenheitsszenario EXT die höchsten Zusatzwasserbedarfswerte im Juni und August erreicht. Geringere Niederschläge und der hohe Anteil an Mais (rund 45 %) und Getreide (rund 37 %) an den bewässerungswürdigen Kulturen bedingen den hohen Zusatzwasserbedarf in den beiden Monaten. Im Vergleich dazu steigt im *Leimental* der Zusatzwasserbedarf bis im Juni an und nimmt

anschliessend wieder langsam ab. Auch hier ist der hohe Anteil an Getreide (rund 58%) an den bewässerungswürdigen Kulturen an dem hohen Zusatzwasserbedarf im Juni verantwortlich. Der Maisanteil liegt nur bei 20% und macht sich in den darauffolgenden Monaten noch in einem leicht erhöhten Zusatzwasserbedarf bemerkbar.

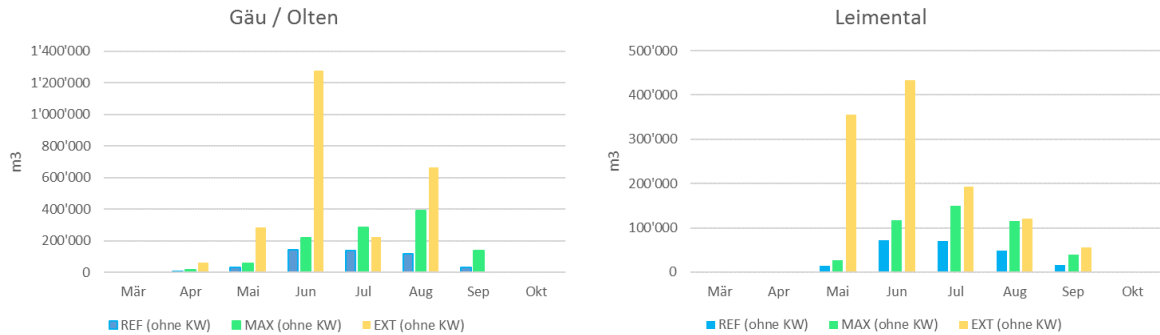


Abbildung 14: Zusatzwasserbedarf der Modellregionen *Gäu/Olten* und *Leimental* im Vergleich (ohne KW).

Der Einfluss von Kunstwiesen ist je nach Modellregion unterschiedlich gross. Je höher der Anteil an Kunstwiesen im Allgemeinen und im Vergleich zu anderen bewässerungswürdigen Kulturen in einer Modellregion, desto grösser ist ihr Einfluss auf den Zusatzwasserbedarf und damit auf die Wasserbilanz. Prozentual werden die grössten Unterschiede im Zusatzwasserbedarf im Vergleich mit und ohne Kunstwiese in den Modellregionen *Kleinlützel*, *Thal*, *Dorneck* und *Thierstein* erreicht. In diesen Regionen ist der Anteil an Kunstwiese grösser als der Anteil an bewässerungswürdigen Kulturen an der landwirtschaftlichen Nutzfläche, der mit weniger als 10 % sehr gering ist (Abbildung 15).

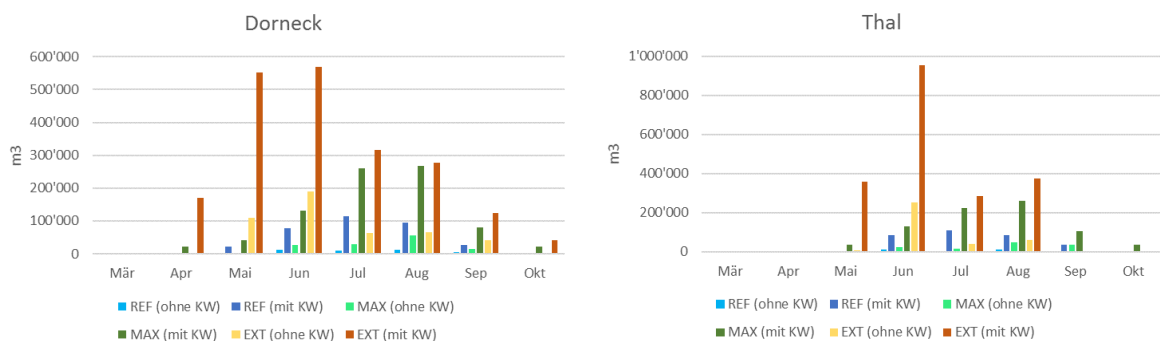


Abbildung 15: Zusatzwasserbedarf der Modellregionen *Dorneck* und *Thal* mit und ohne Kunstwiese als bewässerungswürdige Kultur.

Die Einstufung der Bewässerungswürdigkeit der Kulturen sowie deren Anteile an der landwirtschaftlichen Nutzfläche haben einen erheblichen Einfluss auf die monatliche Verteilung des Zusatzwasserbedarfs einer Modellregion und können damit ein Wasserdefizit sowohl verschärfen als auch reduzieren.

3.1.3. Ergebnis der Modellierung der Wasserbilanz und des Zusatzwasserbedarfs

Grenzen und Unsicherheiten der Modellierung

Im Modell werden weder die Niederschlagsverteilung noch extreme Trockenjahre (wie der Hitzesommer 2018) dargestellt. Wenn also die Modellierung aufzeigt, dass in bestimmten Szenarien genügend Wasser im Kanton oder einer Modellregion zur Verfügung steht, um den Zusatzwasserbedarf der Kulturen zu decken, muss dies nicht zwingend bedeuten, dass dies in der Realität auch immer so ist. Die Ergebnisse der Modellierung zeigen immer Durchschnittswerte (pro Monat oder Vegetationsperiode) an. Es kann somit trotz eines positiven Wasserbilanzergebnisses zu Wasserknappheit kommen und ein Wasserdefizit entstehen.

Zudem darf nicht ausser Acht gelassen werden, dass die Einteilung der Kulturen in bewässerungswürdig und nicht bewässerungswürdig eine grosse Unsicherheit des Modells darstellt. Dies wurde im vorherigen Kapitel bereits eingehend erläutert. Weiden und Naturwiesen wurden in der Modellierung nicht berücksichtigt, da sie als nicht bewässerungswürdig eingestuft werden. Trotz allem werden auch die Viehbetriebe aufgrund der Futtermittelausfälle unter den Konsequenzen der zunehmenden Trockenphasen leiden.

Alle weiteren Unsicherheiten und Grenzen der Modellierung sind im Resultatbericht von Egli Engineering [25] beschrieben.

Wasserbilanz des Kantons Solothurn

Die landwirtschaftliche Nutzfläche im gesamten Kanton besteht zu $\frac{2}{3}$ aus Weiden, Naturwiesen und Kunstwiesen, wobei die Kunstwiesen rund 14 % ausmachen (Abbildung 16). Der Anteil an bewässerungswürdigen Kulturen liegt bei ca. 21 %. Fast die Hälfte davon sind Brot- und Saatgetreide, gefolgt von Silomais und Körnermais. Der Anteil an Dauerkulturen, zu dem auch Obst und Gemüse zählen, ist mit knapp 3 % sehr gering.

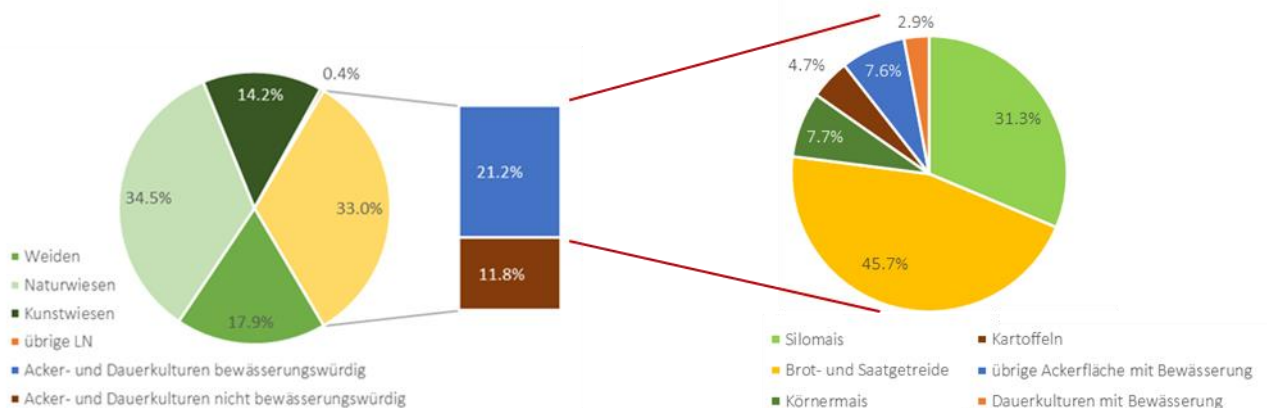


Abbildung 16: Kulturenzusammensetzung im Kanton Solothurn. Links: Anteil der Kulturen an der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Rechts: Anteil an bewässerungswürdigen Kulturen (ohne KW) [27].

Der Zusatzwasserbedarf steigt im Sommer an und erreicht im Juni und August seinen Höhenpunkt. Unter heutigen Bedingungen ist während der Vegetationsperiode genügend Wasser vorhanden, um den Zusatzwasserbedarf zu decken (Abbildung 17). Die Situation verschärft sich in den Trockenheitsszenarien deutlich: Im Trockenheitsszenario MAX kommt es in den Monaten Juli und August zur Wasserknappheit von insgesamt bis zu 1.5 Mio. m³ Wasser. Die Wasserknappheit dehnt sich im Trockenheitsszenario EXT auf die Monate Mai bis September aus. Es kann hier zu Wasserdefiziten von bis zu 17.5 Mio. m³ kommen. Dies entspricht in etwa dem jährlichen Trinkwasserverbrauch der Einwohner der Bezirke Leberberg, Wasseramt, Bucheggberg und Olten.

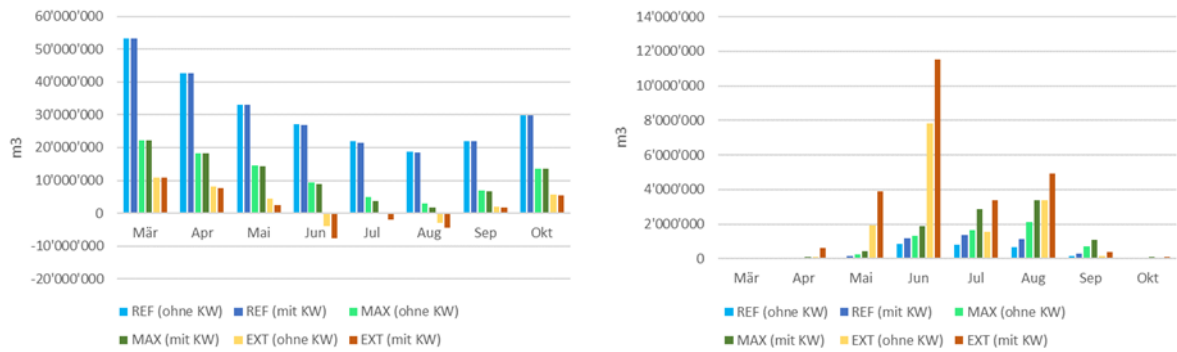


Abbildung 17: Links: Modellierte Wasserbilanz in m³ im Kanton Solothurn während der Vegetationsperiode. Rechts: Modellierter Zusatzwasserbedarf in m³ im Kanton Solothurn während der Vegetationsperiode.

Gesamtwasserbilanz der Modellregionen

Die Gesamtwasserbilanz ist die aufsummierte Wasserbilanz über die gesamte Vegetationsperiode von März bis Oktober. Sie zeigt auf, in welchen Modellregionen insgesamt in diesem Zeitraum genügend Wasser für ein optimales Wachstum der Kulturen vorhanden ist (positives Ergebnis) beziehungsweise, wo das Wasser nicht ausreicht, um den Zusatzwasserbedarf der Kulturen zu decken (negatives Ergebnis). Dabei ist jedoch nicht ersichtlich, ob es in allen Monaten genügend Wasser hat.

In den Szenarien REF und MAX (ohne KW) hat es insgesamt in der gesamten Vegetationsperiode genug Wasser für das optimale Wachstum der angebauten Kulturen (Abbildung 18). Im Trockenheitsszenario EXT dagegen kommt es in den drei Modellregionen *Bucheggberg-*, *Leberberg-*, und *Leimental* zu einem Wasserdefizit. Die Modellregion *Bucheggberg-* weist das höchste Wasserdefizit von rund 3.6 Mio. m³ auf. Dies entspricht in etwa dem doppelten jährlichen Trinkwasserverbrauch der Einwohner der Stadt Solothurn. Zusätzlich ist bei den drei genannten Modellregionen auch die prozentuale Reduktion der Wasserbilanz von heute zum Szenario EXT am grössten (*Bucheggberg-*: 120%; *Leberberg-*: 102%; *Leimental*: 104%). Der Klimawandel zeigt hier die grössten Auswirkungen.

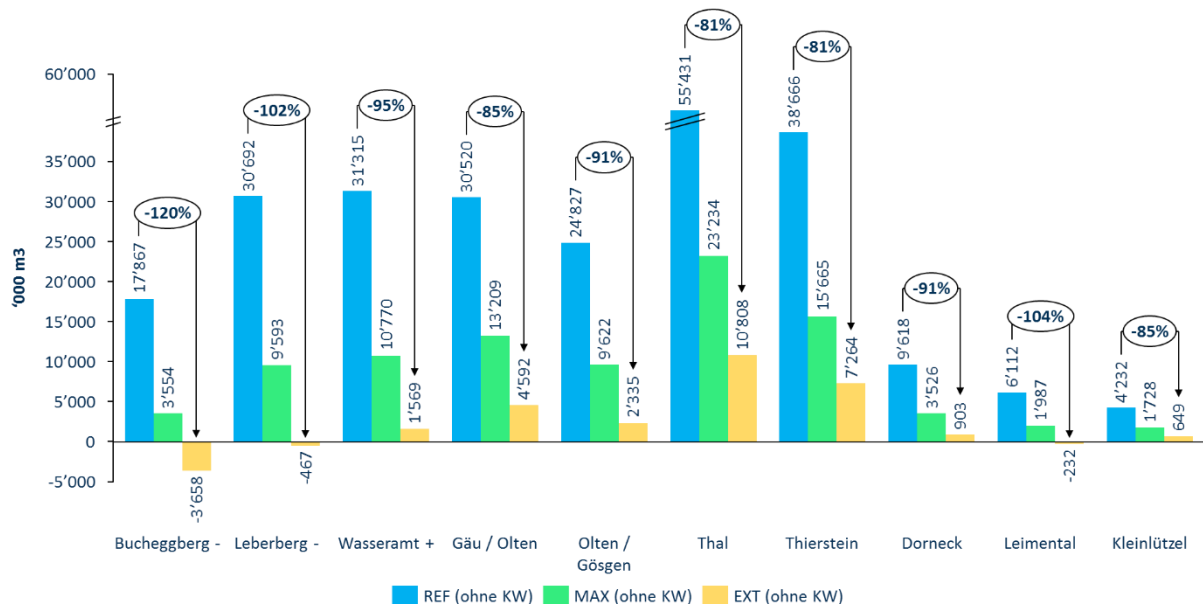


Abbildung 18: Gesamtwasserbilanz über die Vegetationsperiode (Mär-Okt) pro Modellregion, ohne Kunstwiese als bewässerungswürdige Kultur für die Szenarien REF, MAX und EXT.

Im Vergleich dazu stehen zusätzlich in den beiden Modellregionen *Dorneck* und *Kleinlützel* in der Modellierung mit Kunstwiese als bewässerungswürdige Kultur zu wenig Wasser für das optimale Wachstum der angebauten Kulturen zur Verfügung (Abbildung 19). Das Wasserdefizit in *Bucheggberg*- steigt auf rund 4.3 Mio. m³ an und entspricht damit in etwa dem 2.5-fachen jährlichen Trinkwasserverbrauch der Einwohner der Stadt Solothurn.

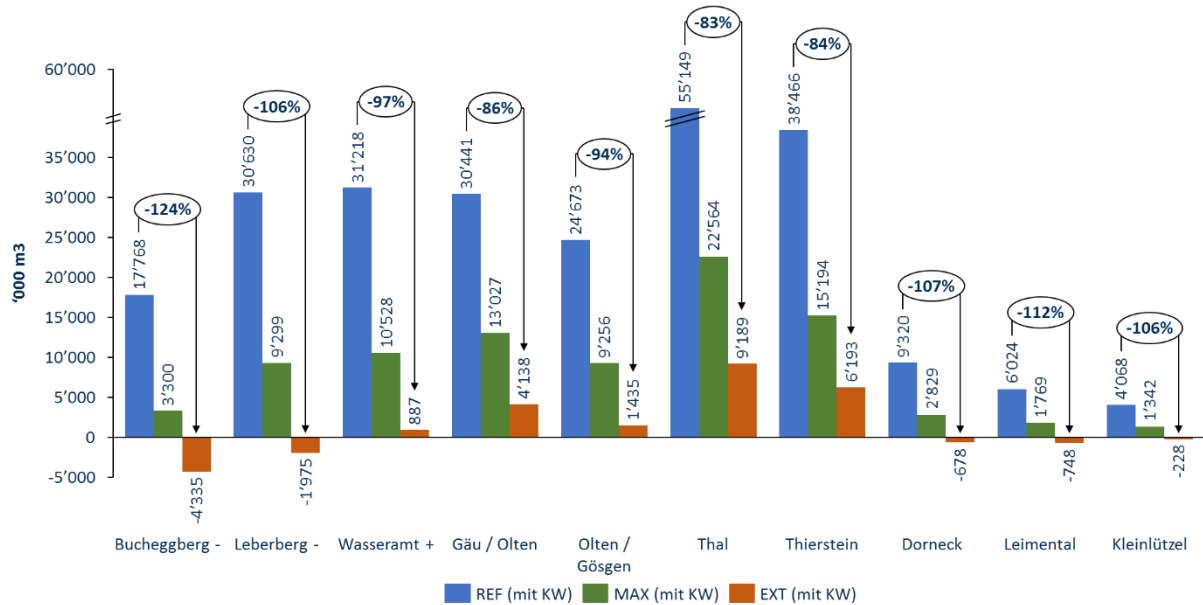


Abbildung 19: Gesamtwasserbilanz über die Vegetationsperiode (Mär-Okt) pro Modellregion und mit Kunstwiese als bewässerungswürdige Kultur für die Szenarien REF, MAX und EXT.

Monatliche Wasserbilanz der Modellregionen

Die Wasserbilanz (ohne KW) zeigt, dass gerade in den Sommermonaten von Juni bis August die Auswirkungen des Klimawandels am stärksten spürbar sind. In diesen Monaten fällt teils weniger Niederschlag und die Kulturen benötigen viel Zusatzwasser, um optimal wachsen zu können. Im Monat Juni weist vor allem das Trockenszenario EXT in vielen Modellregionen ein Wasserdefizit auf (Abbildung 20). Dabei muss mit den grössten Defiziten in den Modellregionen südlich des Jura gerechnet werden. In *Bucheggberg*- und *Leberberg*- fehlen im Juni jeweils rund 1.6 bis 1.7 Mio. m³ Wasser. Dies entspricht in etwa dem jährlichen Wasserentzug aus drei durchschnittlichen Trinkwasserfassungen im Kanton.

Ein Vergleich der Wasserbilanz zur Modellierung mit Kunstwiese (EXT) als bewässerungswürdige Kultur zeigt, dass sich die Lage in allen Modellregionen zuspitzt (Abbildung 21). Allein in den Modellregionen südlich des Jura fehlen im Extremszenario im Juni insgesamt mehr als 7 Mio. m³ Wasser (Vergleich ohne KW: ~5 Mio. m³). Dies entspricht ungefähr dem jährlichen Trinkwasserverbrauch der Einwohner der Bezirke Wasseramt und Thal. Auch die nördlichen Modellregionen weisen nun stärkere Wasserdefizite auf. So fehlen über 1.1 Mio. m³ Wasser in *Dorneck*, *Leimental* und *Kleinlützel*. Im *Thal* und *Thierstein* ist die Wasserbilanz weiterhin positiv, da sie den geringsten Anteil an bewässerungswürdigen Kulturen aufweisen. Rund 85 % der jeweiligen Flächen bestehen aus Weiden und Naturwiesen. Hier besteht bei zunehmenden Trockenphasen aber die Gefahr von grossen Futtermittelausfällen.

Wasserbilanz im Monat Juni

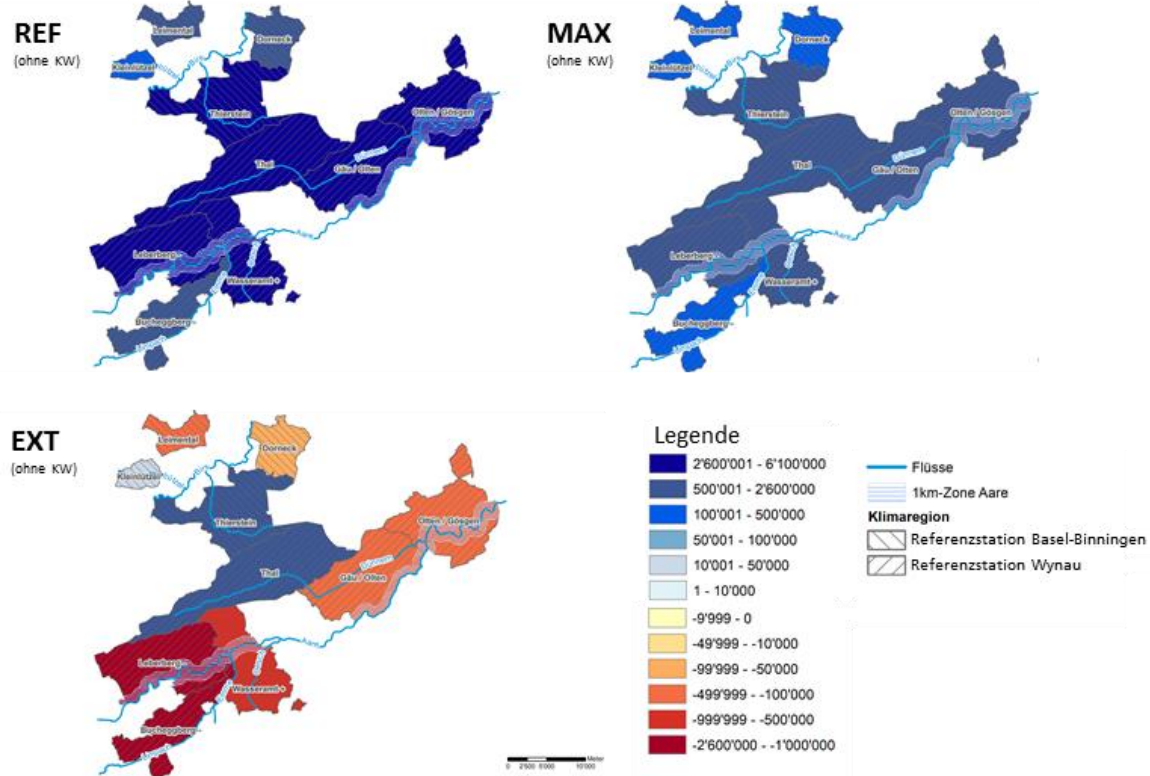


Abbildung 20: Modellerte Wasserbilanz der drei Szenarien REF, MAX und EXT in m³ pro Modellregion im Monat Juni, ohne Kunstwiese als bewässerungswürdige Kultur [25].

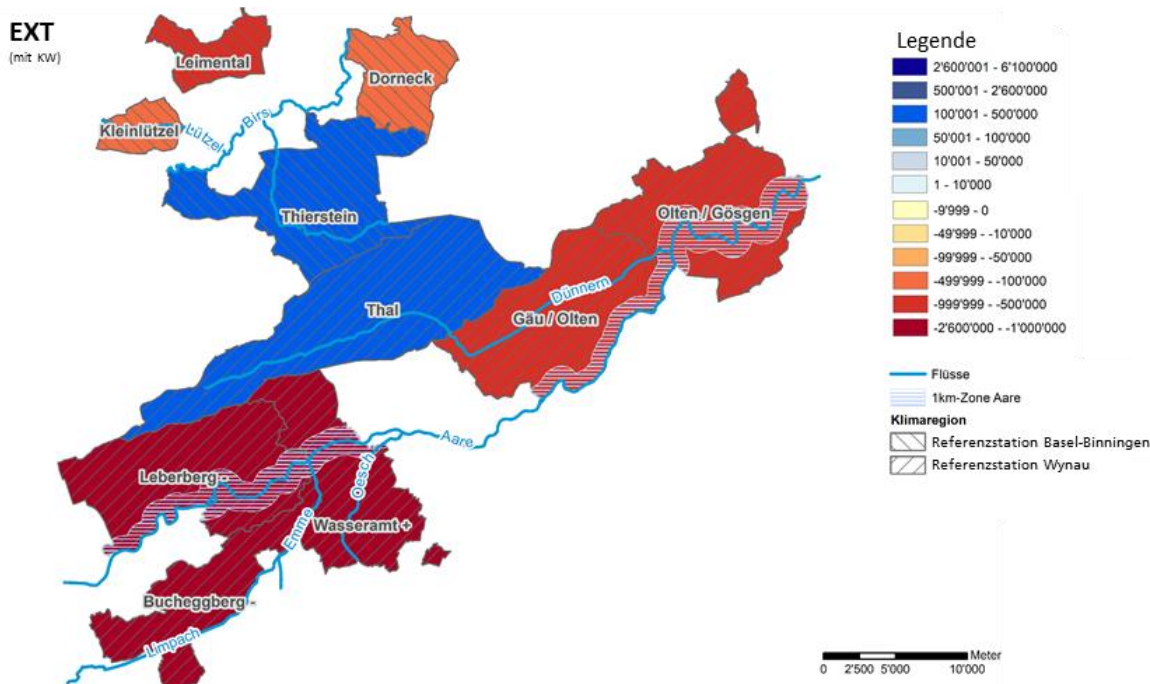


Abbildung 21: Modellerte Wasserbilanz des Trockenheitsszenarios EXT in m³ pro Modellregion im Monat Juni, mit Kunstwiese als bewässerungswürdige Kultur [25].

Schlussfolgerung

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Ressourcen Wasser und damit auf die Landwirtschaft und ihre Kulturen wird im ganzen Kanton zu spüren sein. Die Bewässerungsbedürftigkeit wird in der Zukunft zunehmen. Die Ergebnisse der Modellierung zeigen jedoch, dass die Vulnerabilität einzelner Regionen grösser sein wird als in anderen. Vor allem die Modellregionen südlich des Jura werden in Zukunft am stärksten mit der Wasserknappheit zu kämpfen haben. Dabei weisen die Ergebnisse darauf hin, dass besonders die Modellregionen *Bucheggberg-*, *Leberberg-* und *Wasseramt+* mit hohen Wasserdefiziten rechnen müssen. Dort wird die Bewässerungsbedürftigkeit voraussichtlich am stärksten ansteigen.

3.2. Bewertung der Modellregionen im Hinblick auf die Bewässerung

Die Erarbeitung der Grundlagen zur Wasserknappheit und der Bewässerungsfläche geben einen ersten Einblick in die Bewässerungswürdigkeit und -bedürftigkeit der einzelnen Modellregionen. Um einen umfassenderen Überblick über das Trockenheitsrisiko und die Bewässerung in den Modellregionen zu bekommen, wurden zusätzlich die Ressourcen Wasser und Boden betrachtet. Die Bewertung der Trockenheitsrisikos und der Bewässerungssituation wurde aus vier Perspektiven (Abbildung 22) auf Basis der Modellregionen vorgenommen:



Abbildung 22: Bewertung des Trockenheitsrisikos und der Bewässerungssituation im Kanton Solothurn aus vier Perspektiven [b].

Die Bewertung des Bodens auf Basis der Modellregionen hat sich als nicht sinnvoll erwiesen. Die Böden sind in diesem groben Massstab zu heterogen, als dass dies eine einheitliche Bewertung zulassen würde. Deshalb werden die Böden in der anschliessenden Bewertungsübersicht nicht aufgeführt und im darauffolgenden Text separat behandelt.

Die Bewertung ist eine erste Einschätzung zum Zustand und zur Entwicklung der Modellregionen im Kanton Solothurn im Kontext von Klimawandel, Trockenheit und Bewässerung (Tabelle 4). Dies ist eine grossräumige Betrachtung der Bewässerungssituation und lässt sich nicht kleinräumig auf einzelne Parzellen übertragen. Die für die Bewertung ausschlaggebenden Bewertungsschemas sind im Anhang 1 aufgeführt. Die Bewertung wurde pro Modellregion und Perspektive durchgeführt und nach dem folgenden Schema dargestellt (Tabelle 3):

Tabelle 3: Darstellung des Bewertungsschemas pro Modellregion und Perspektive

■ ■ ■ ■ ■	Risiko steigt ↑	In Zukunft hohes Risiko für die Landwirtschaft bei Trockenheit
■ ■ ■ ■		In Zukunft mittleres bis hohes Risiko für die Landwirtschaft bei Trockenheit
■ ■ ■		In Zukunft mittleres Risiko für die Landwirtschaft bei Trockenheit
■ ■		In Zukunft tiefes bis mittleres Risiko für die Landwirtschaft bei Trockenheit
-		In Zukunft tiefes Risiko für die Landwirtschaft bei Trockenheit

Tabelle 4: Bewertung der Wasserknappheit, Bewässerungsfläche und Wasserressource pro Modellregionen

	Wasserknappheit besonders gefährdete Gebiete	Bewässerungsfläche Zusammensetzung der Kulturen	Wasserressource Gewässer / Grundwasser	Gesamt- bewertung
	Bewässerungsbedürftigkeit	Bewässerungswürdigkeit	Bewässerungsmachbarkeit	
Bucheggberg -	Wasserdefizit von Mai bis Oktober in den Trockenheitsszenarien MAX und EXT bis maximal ~4.9 Mio. m ³ . ■ ■ ■ ■ ■	Grosse potenzielle Bewässerungsfläche; mehr als 50% der LN sind bewässerungswürdige Acker- und Dauerkulturen (v.a. Getreide, Mais und Kartoffeln) und rund 19% Kunstwiesen. ■ ■ ■ ■ ■	Keine zuverlässige Deckung des Wasserbedarfes durch Oberflächengewässer. Versiegende Quellen. Allenfalls kleinere Entnahmen aus lokalen Schottervorkommen. ■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■
Leberberg -	Wasserdefizit von Juni bis September im Trockenheitsszenario EXT bis maximal ~4.4 Mio. m ³ . ■ ■ ■ ■	Grosse potenzielle Bewässerungsfläche; mehr als 50% der LN sind bewässerungswürdige Acker- und Dauerkulturen (v.a. Getreide und Mais) und rund 16% Kunstwiesen. ■ ■ ■ ■ ■	Keine zuverlässige Deckung des Wasserbedarfes durch Oberflächengewässer. Ausnahme: Entlang der Aare. Versorgung mit Grundwasser teilweise grundsätzlich möglich, aber nicht gesichert. ■ ■ ■ ■ / ■ ■ ■ ■	■ ■ ■
Wasseramt +	Wasserdefizit in den Monate Juni bis August im Trockenheitsszenario EXT bis maximal ~2.3 Mio. m ³ . ■ ■ ■	Grosse potenzielle Bewässerungsfläche; mehr als 50% der LN sind bewässerungswürdige Acker- und Dauerkulturen (v.a. Getreide, Mais und Kartoffeln) und rund 19% Kunstwiesen. ■ ■ ■ ■ ■	Wasserentnahme aus Aare möglich; aus anderen mittelgrossen Oberflächengewässern eingeschränkt möglich. Vermehrte Entnahme von Grundwasser muss noch abgeklärt werden. ■ ■ ■ ■	■ ■ ■
Gäu / Olten	Wasserdefizit in den Monaten Juni und August im Trockenheitsszenario EXT bis maximal knapp 1 Mio. m ³ . ■ ■ ■	Grosse potenzielle Bewässerungsfläche; mehr als 45% der LN sind bewässerungswürdige Acker- und Dauerkulturen (v.a. Getreide und Mais) und rund 19% Kunstwiesen. ■ ■ ■ ■ ■	Keine zuverlässige Deckung des Wasserbedarfes durch Oberflächengewässer. Ausnahme: Entlang der Aare. Versorgung mit Grundwasser grundsätzlich möglich (aber Nitratproblematik beachten!) ■ ■ ■ ■	■ ■ ■
Olten / Gösigen	Wasserdefizit in den Monaten Juni bis August im Trockenheitsszenario EXT bis maximal ~1.5 Mio. m ³ . ■ ■ ■	Mittlere bis grosse potenzielle Bewässerungsfläche; rund 27% der LN sind bewässerungswürdige Acker- und Dauerkulturen (v.a. Getreide und Mais) und rund 14% Kunstwiesen. ■ ■ ■ ■ ■	Keine zuverlässige Deckung des Wasserbedarfes durch Oberflächengewässer. Wasserbezug aus Aare in Ebene möglich. Versorgung mit Grundwasser aus Niederamt grundsätzlich möglich. ■ ■ ■ ■	■ ■
Thal	Grundsätzlich positive Wasserbilanz. <i>Achtung:</i> Unsicherheiten der Modellierung beachten. -	Mittlere potenzielle Bewässerungsfläche; rund 7% der LN sind bewässerungswürdige Acker- und Dauerkulturen (v.a. Mais und Getreide) und rund 8% Kunstwiesen. ■ ■ ■ ■ ■	Keine zuverlässige Deckung des Wasserbedarfes durch Oberflächengewässer. Grundwasserbezug muss abgeklärt werden. ■ ■ ■ ■	■ ■
Thierstein	Wasserdefizit im Monat August im Trockenheitsszenario EXT bis maximal 50'000 m ³ . ■ ■ ■	Kleine bis mittlere potenzielle Bewässerungsfläche; rund 6% der LN sind bewässerungswürdige Acker- und Dauerkulturen (v.a. Mais und Getreide) und rund 6% Kunstwiesen. Ausnahme: In Gemeinden Breitenbach und Büsserach ist Anteil bewässerungswürdiger Kulturen höher. ■ ■ ■ ■ ■	Keine zuverlässige Deckung des Wasserbedarfes durch Oberflächengewässer. Versorgung mit Grundwasser aus Lüsselebene grundsätzlich denkbar. ■ ■ ■ ■	■ ■
Dorneck	Wasserdefizit in den Monaten Mai bis September in den Trockenheitsszenarien MAX und EXT bis maximal 1.5 Mio. m ³ . ■ ■ ■ ■	Kleine bis mittlere potenzielle Bewässerungsfläche; rund 19% der LN sind bewässerungswürdige Acker- und Dauerkulturen (v.a. Getreide und Mais) und rund 16% Kunstwiesen. ■ ■ ■ ■ ■	Keine Deckung des Wasserbedarfes durch Oberflächengewässer. Versorgung mit Grundwasser mit Ausnahme der Region Dornach nicht möglich. ■ ■ ■ ■ ■	■ ■

Leimental	Wasserdefizit in den Monaten Mai bis September in den Trockenheitsszenarien MAX und EXT bis maximal 1.5 Mio. m ³ . ■■■■	Mittlere potenzielle Bewässerungsfläche; rund 44% der LN sind bewässerungswürdige Acker- und Dauerkulturen (v.a. Mais und Getreide) und rund 10% Kunstwiesen. ■	Keine Deckung des Wasserbedarfs durch Oberflächen-gewässer. Versorgung mit Grundwasser nur lokal reduziert möglich. ■■■■■	■■■
Kleinklützel	Wasserdefizit in den Monaten Mai bis September in den Trockenheitsszenarien MAX und EXT bis maximal 650'000 m ³ . ■■■	Kleine bis mittlere potenzielle Bewässerungsfläche; rund 17% der LN sind bewässerungswürdige Acker- und Dauerkulturen (v.a. Mais und Getreide) und rund 24% Kunstwiesen. ■	Keine Deckung des Wasserbedarfs durch Oberflächen-gewässer. Reduzierte Versorgung mit Grundwasser allenfalls in Schottervorkommen möglich. ■■■■■	■■■

Die Böden im Kanton Solothurn sind vielfältig und kleinräumig sehr verschiedenen. Auch das Wasserspeichervermögen der Böden kann sich regional sehr schnell verändern und Grund- und Hangwasser beeinflussen das Wasserregime im Boden. Dennoch kann eine allgemeine Aussage zur Bewässerung von leichten, mittelschweren und schweren Böden gemacht werden. Böden in Hanglage oder grund- und hangnasse Böden sind dabei besonders zu beachten (Tabelle 5):

Tabelle 5: allgemeine Bewertung der Böden im Hinblick auf die Bewässerung

Leichte Böden	Mittelschwere Böden	Schwere Böden
<ul style="list-style-type: none"> - schlechtes Wasser- und Nährstoffspeichervermögen - stark wasserdurchlässig - schnell abtrocknend - gut bearbeitbar - gute Infiltration 	<ul style="list-style-type: none"> - optimales Wasser- und Nährstoffspeichervermögen ⇒ bester nutzbarer Wasservorrat - gut bearbeitbar - Wasserspeicherung durch hohe Humusgehalt verbessert 	<ul style="list-style-type: none"> - gutes Wasser- und Nährstoffspeichervermögen - hoher Anteil nicht pflanzenverfügbares "Totwasser"
<ul style="list-style-type: none"> ⇒ Bewässerungsgaben beschränken ⇒ in Kombination mit Flachgründigkeit für Bewässerung nicht geeignet 	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ normale Bewässerungsgaben 	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ Schlechte Infiltration bei Bewässerung beachten ⇒ Bewässerungsgaben anpassen

Für Böden in Hanglage oder grund- und hangnasse Böden gelten besondere Bedingungen:	
Böden in Hanglage	Grund- und hangnasse Böden
<ul style="list-style-type: none"> - nur bedingt geeignet für Bewässerung, da grosses Erosions- und Abschwemmungsrisiko 	<ul style="list-style-type: none"> - gute Wassernachlieferung kompensiert ein beschränktes Wasserspeichervermögen (sofern nicht drainiert)
<ul style="list-style-type: none"> ⇒ kurze Beregnungsintervalle; kleine Einzelgaben, 	<ul style="list-style-type: none"> ⇒ reduzierte Bewässerungsbedürftigkeit; wenn Bewässerung nötig: Vernässungsgefahr beachten.

Die Gesamtbewertung der Modellregionen zeigt (Tabelle 4), dass vor allem in den ackerbaubetonnten Regionen südlich des Juras das Risiko für die Landwirtschaft bei Trockenheit sehr hoch ist. Die durch den Klimawandel steigenden Temperaturen und zunehmenden Trockenphasen stellen damit ein erhebliches Risiko für die Landwirtschaft in den Regionen dar. Der Vergleich zu den nördlicheren Modellregionen zeigt, dass auch für *Dorneck*, *Leimental* und *Kleinklützel* ein hohes Risiko besteht. Jedoch ist die landwirtschaftliche Nutzfläche in diesen Modellregionen deutlich kleiner (*Dorneck* ≈ 1'800 ha; *Leimental* ≈ 1'300 ha; *Kleinklützel* ≈ 600 ha) als in denen südlich des Jura (*Bucheggberg-* ≈ 3'700 ha; *Leberberg-* ≈ 4'500 ha; *Wasseramt+* ≈ 3'900 ha). Dementsprechend gibt es dort auch eine deutlich geringere effektive

bewässerungswürdige Fläche. Die Landwirtschaft in den Modellregionen *Thal* und *Thierstein* weisen aufgrund der geringen Wasserknappheit und Bewässerungsfläche das geringste Risiko bei Trockenheit auf. Der hohe Grünlandanteil und die viehbetonten Betriebe leiden jedoch auch unter den steigenden Temperaturen und geringer werdenden Sommerniederschläge. Es ist hier mit Futterausfällen zu rechnen.

Faktenblätter als erste Einschätzung des Kantons zum Trockenheitsrisiko und zur Bewässerung

Für jede Modellregion wurde ein Faktenblatt mit den Ergebnissen und Einschätzungen in Bezug auf das Trockenheitsrisiko und die Bewässerungssituation aus den vier Perspektiven erstellt. Die Faktenblätter liegen als Zusatzdokument zum Zustandsbericht vor. Sie stellen den aktuellen Stand des Wissens dar und dienen als Zusammenfassung der hier dargestellten Ergebnisse. Sie sind nicht abschliessend. Die Einschätzungen und Bewertung können sich aufgrund neuer Erkenntnisse verändern.

3.3. Analyse der Bewässerung in der Landwirtschaft

In den vorherigen Kapiteln wurde der Kanton im Hinblick auf die Bewässerungswürdigkeit, Bewässerungsbedürftigkeit und Bewässerungsmachbarkeit eingehend analysiert und bewertet. Im Hinblick auf die Bewässerungswürdigkeit ist auch die ökonomische Betrachtung, also Kosten versus Nutzen, von Bedeutung. Zudem muss auch die Effizienz der Bewässerung berücksichtigt werden. Beide Aspekte werden im Folgenden anhand verschiedenster Literatur und Studien aus anderen Kantonen zusammengefasst.

3.3.1. Ökonomische Betrachtung der Bewässerung in der Landwirtschaft

Der Kanton Basel-Landschaft hat aufbauend auf der Abschätzung des Bewässerungsbedarfs von Fuhrer und Smith [26] eine Berechnung zur Wirtschaftlichkeit der Bewässerung ausgewählter Kulturen im Kanton von der Agroscope durchführen lassen [28]. Die Berechnung beruht dabei auf denselben Grundlagen wie die Abschätzung des Bewässerungsbedarfs:

- Vier Klimamodelle (entsprechen den Szenarien der Modellierung des Kanton Solothurn wie folgt: Referenz = Referenzszenario **REF**, CCmin = *wurde nicht berücksichtigt*, CCmax = Trockenheitsszenario **MAX** und Extrem = Trockenheitsszenario **EXT**)
- drei Bodentypen: Braunerde, Parabraunerde und Kalkbraunerde (in der Solothurner Modellierung wurde der Kanton in tiefgründiger, toniger Lehm (entspricht Braunerde) und tiefgründiger, sandiger Lehm (entspricht Parabraunerde) eingeteilt).
- sechs Kulturen (Winterweizen, Körnermais, Kunstwiese, Kartoffeln, Kirschen und Erdbeeren)

Da die Trockenheitsmodellierung des Kanton Solothurn auf der Abschätzung des Bewässerungsbedarfs nach Fuhrer und Smith [26] beruht, werden auch beim Thema Wirtschaftlichkeit der Bewässerung die Ergebnisse des Kanton Basel-Landschaft herangezogen. Zorn und Lips [28] haben für die sechs Kulturen jeweils eine Kosten-/Leistungsrechnung pro Hektare durchgeführt (Tabelle 6):

Tabelle 6: Kosten-/Leistungsrechnung pro Hektare am Beispiel vom Weizen (Arbeitsverwertung = resultierender Stundenlohn) [28].

Kosten-/Leistungspositionen		Veränderung	
+ Leistungen	Weizen & Stroh	Potenzielle Einbussen (Quantität & Qualität)	
	Direktzahlungen		
- Vollkosten	Direktkosten	Saatgut	
		Pflanzenschutzmittel	
		Andere Direktkosten	Wasserkosten
	Land	Land (Pacht)	
	Gemeinkosten	Arbeit	Kosten für Bewässerungsanlagen, Unterhalt und Betrieb
		Maschinen	
Gebäude			
	Andere Gemeinkosten		
= Kalkulatorischer Gewinn / Verlust		Gewinnveränderung	
= Arbeitsverwertung		Veränderung Arbeitsverwertung	

Für jede Kultur wurden Annahmen zur Bewässerungsart und damit zu den Bewässerungskosten und zur Bewässerungseffizienz getroffen [28]: Bei den Kulturen Winterweizen, Körnermais, Kartoffeln, Kunstwiese und Erdbeeren wurde mit einer Neuanschaffung einer mobilen Beregnungsmaschine (Rollomat) und der Entnahme des Wassers aus Oberflächengewässern mit einer Gebühr von Rp. 4 je m³ gerechnet. Für die Bewässerung von Kirschen wurde eine Mikrosprinkleranlage herangezogen und mit einer Gebühr von Rp. 5 je m³ die Entnahme von Grundwasser mit einberechnet. Kosten für die Beschaffung, die Bewilligung oder die Grundwasserbohrung wurden auch berücksichtigt.

In der Berechnung der Wirtschaftlichkeit wurde angenommen, dass Kartoffeln, Kirschen und Erdbeeren derzeit bereits bewässert werden. Winterweizen, Körnermais und Kunstweiden werden nach Zorn und Lips [28] gegenwärtig als nicht bewässerungswürdig eingestuft (Tabelle 7). Es wird von einer Bewässerungseffizienz von 65% ausgegangen (anders als bei der Modellierung der Wasserbilanz im Kanton Solothurn mit 60%).

Tabelle 7: Ertragsabweichungen in % vom mittleren Ertrag in der Referenzsituation in verschiedenen Klimaszenarien, falls nicht bewässert wird. Die Klimamodelle entsprechen den Trockenheitsszenarien wie folgt: Referenz = REF, CCmax = MAX, Extrem = EXT [28].

Klimamodell	Winterweizen	Körnermais	Kunstwiese	Kartoffeln	Kirschen	Erdbeeren
Referenz (=REF)	0%	0%	0%	-10%	-10%	-10%
CCmax (=MAX)	-15%	-40%	-25%	-25%	-30%	-15%
Extrem (=EXT)	-40%	-50%	-40%	-50%	-70%	-40%

Weitere Details dieser Berechnung können aus der Veröffentlichung von Zorn und Lips [28] entnommen werden.

Im Folgenden werden die wichtigsten Erkenntnisse zur Bewässerungswürdigkeit zusammengefasst. Es wird dabei nur auf die Aspekte eingegangen, die in der Solothurner Trockenheitsmodellierung mit einberechnet wurden (Klimamodell Referenz, CCmax und Extrem; Bodentypen Braunerde und Parabraunerde).

Zorn und Lips [28] gehen in ihrer Berechnung davon aus, dass beim **Winterweizen** unter heutigen Klimabedingungen keine Bewässerung notwendig ist. Mit zunehmender Trockenheit muss jedoch mit Ertragsrückgängen von 15 % (CCmax) bis 40 % (Extrem) gerechnet werden (Tabelle 7). Eine Bewässerung der Kultur könnte zwar den Ertragsrückgang verhindern, jedoch steigen die zusätzlichen Kosten stark an. Der kalkulatorische Gewinn ist im Falle der Bewässerung in den Zukunftsszenarien negativ und deutlich tiefer als ohne Bewässerung. Eine Bewässerung des Winterweizens ist nicht wirtschaftlich.

Ähnlich wie beim Winterweizen ist auch die Bewässerung von **Kunstwiesen** nicht wirtschaftlich [25]. Es muss in Zukunft zwar mit einem Ertragsrückgang von 25 % (CCmax) bis 40% (Extrem) gerechnet werden, eine Bewässerung würde jedoch zu deutlich grösseren wirtschaftlichen Nachteilen führen als ohne Bewässerung.

Anders sieht die Situation beim **Körnermais** aus. Zorn und Lips [28] gehen hier ohne eine Bewässerung von Ertragsrückgängen von 40 % (CCmax) bis 50 % (Extrem) aus (Tabelle 7). Ohne Bewässerung muss in den Zukunftsszenarien mit finanziellen Verlusten gerechnet werden. Eine Bewässerung der Kultur würde zwar keinen kalkulatorischen Gewinn einbringen, jedoch könnten die Verluste deutlich geschmälert werden. Somit kann eine Bewässerung des Körnermais wirtschaftliche Vorteile bringen. Es ist davon auszugehen, dass die Situation bei Silomais jener von Körnermais entspricht.

Auch bei den **Kartoffeln** kann eine Bewässerung wirtschaftlich sinnvoll sein. Bereits heute werden Kartoffeln häufig bewässert, ansonsten wäre mit einem Ertragsrückgang von 10 % zu rechnen. Eine Bewässerung führt zwar zu Verlusten, jedoch wurden hier Qualitätsaspekte nicht berücksichtigt. Zorn und Lips [28] weisen darauf hin, dass Kartoffeln zu Sicherung der Qualität bewässert werden und dass bei einem Qualitätszuschlag zum erzielten Preis von 10%, eine Bewässerung mit der nicht bewässerten Situation gleichziehen würde. In den Zukunftsszenarien wird ohne Bewässerung mit Ertragsverlusten von 25 % (CCmax) und 50 (Extrem) gerechnet (Tabelle 7). Eine Bewässerung führt zwar in keinem Szenario zu einem Gewinn, jedoch würde der Verlust deutlich geschmälert. Eine Bewässerung führt also auch hier zu wirtschaftlichen Vorteilen.

Die Sonderkulturen **Erdbeeren** und **Kirschen** werden heutzutage zur Sicherung der Qualität bereits bewässert. Zudem kann es ohne Bewässerung zu einem Ertragsrückgang von 10% kommen. In allen Szenarien (Klimamodell und Bodentyp) führt eine Bewässerung dazu, dass die finanziellen Verluste deutlich geringer sind. Aus dieser Sicht ist eine Bewässerung der Kulturen sinnvoll. Trotz allem wird bei beiden Sonderkulturen in den Trockenheitsszenarien in keiner Situation ein Gewinn erzielt.

Zorn und Lips [28] haben keine Berechnung zur Wirtschaftlichkeit der Bewässerung bei **Gemüse** durchgeführt. Der Anbau von Gemüse ist heutzutage im Kanton bereits an eine Bewässerungsinfrastruktur gebunden. So werden beispielsweise Setzlinge sehr häufig bis zur Verwurzelung bewässert, da sie ansonsten absterben. In zunehmend trockeneren Jahren kann davon ausgegangen werden, dass das Gemüse intensiver bewässert werden muss. Eine Bewässerung von Gemüse wird wohl ähnlich wie bei den Sonderkulturen bei einer reinen Kostenberechnung (ohne Qualitätszuschlag) keinen Gewinn erzielen, aber dennoch wirtschaftlich sinnvoll sein [29]. Neben der Sicherung des Ertrags oder auch der Erzielung eines Mehrertrags, dient die Bewässerung von Gemüse auch der Sicherung der Qualität, wie auch bei den Kartoffeln (Stärkegehalt).

Die Bewässerung einer Kultur besteht immer aus zwei Kostenstellen. Dies ist einerseits die Infrastruktur, also eine Investition mit Fixkosten, und andererseits sind es die variablen Kosten, wie Wasserkosten, Arbeit und Energieaufwand. Grundsätzlich investieren Gemüsebauern in eine Bewässerungsinfrastruktur, da sich diese für sie lohnt. Für die meisten Ackerbauern hat sich bislang die Beschaffung einer Bewässerungsanlage eher weniger gelohnt, da die Ackerkulturen seltener bewässert werden. Ändert sich dies über die Jahre, wird die Schwelle für den Einsatz der Bewässerung tiefer liegen, da auch Ackerbauern vermehrt in eine Bewässerungsinfrastruktur investieren und anschliessend bei einer Ausdehnung der zu bewässernden Parzellen nur die variablen Kosten ansteigen.

Die Ergebnisse von Zorn und Lips [28] zeigen, dass im Hinblick auf die Kosten-Nutzen-Berechnung nur die Kulturen Körnermais, Kartoffeln und Sonderkulturen, wie Beeren oder auch Gemüse, aus ökonomischer Sicht bewässerungswürdig sind. Auch wenn bei diesen Kulturen eine Bewässerung unter heutigen Bedingungen (Preise, Markt, etc.) in Zukunft in keinem Szenario zu einem Gewinn führt, kann der Verlust geschmälert werden. Veränderte Markt- und Ertragssituationen in Zukunft können die Bewässerungswürdigkeit der Kulturen stark beeinflussen. Zusätzlich muss auch damit gerechnet werden, dass die Kosten für eine Bewässerung aufgrund allfälliger saisonaler Wasserknappheit ansteigen können.

3.3.2. Bewässerungstechnik

In der Landwirtschaft stehen für die Bewässerung der Kulturen verschiedene Bewässerungsverfahren zur Auswahl. Bei der Entscheidung für eine standortgerechte Bewässerungsanlage, sind in der Planung verschiedene Faktoren zu beachten:

1. Wasserverfügbarkeit: Woher kann das Wasser entnommen werden (Oberflächengewässer, Grundwasser, etc.)? Wie viel Wasser kann entnommen werden?
 ⇒ *Bewässerungsmachbarkeit*
2. Zusätzlicher Wasserbedarf: Welche Kulturen sollen bewässert werden? Wie viel Fläche soll bewässert werden? Ist es aus pedologischer Sicht sinnvoll, die Fläche zu bewässern? Wie viel Wasser wird dafür zusätzlich benötigt?
 ⇒ *Bewässerungsbedürftigkeit / Bewässerungswürdigkeit*
3. Technische Auslegung: Welches Bewässerungsverfahren ist an dem jeweiligen Standort mit den jeweiligen Kulturen am sinnvollsten?
 ⇒ *Effizienz der Bewässerung*

In den Kantonen Wallis und Graubünden wird vor allem über die Suonen, die historischen Bewässerungskanäle, bewässert. Die damit bewässerten Flächen nehmen mit 37% an der gesamten bewässerten Fläche in der Schweiz den grössten Anteil ein. Damit wird rund 60% der Wassermenge auf diese Flächen verteilt (BLW 2007). Im Kanton Solothurn spielt dieses Bewässerungsverfahren jedoch keine Rolle. Hier werden neben anderen ortsfesten Anlagen, auch teilmobile und mobile Bewässerungsverfahren verwendet (Abbildung 23).

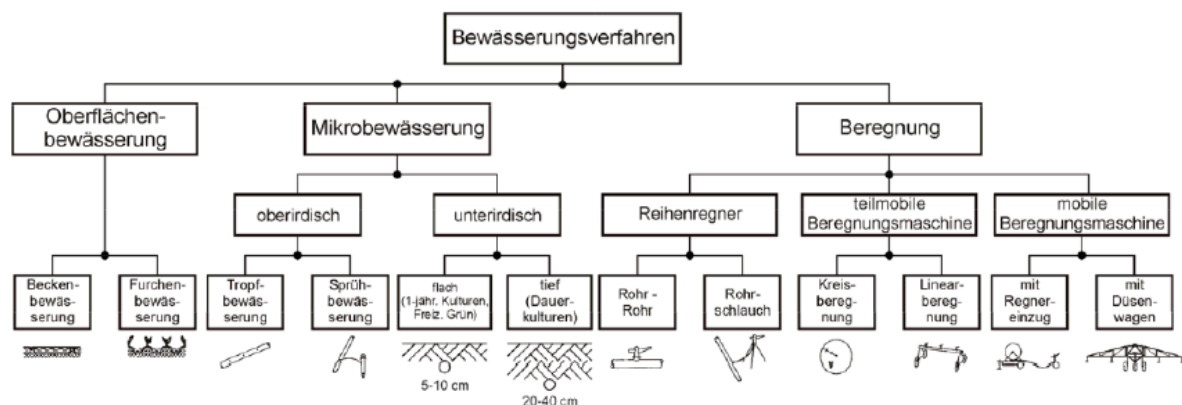


Abbildung 23: Verfahren der Feldbewässerung [26].

Das effizienteste Bewässerungsverfahren ist die Mikrobewässerung mit einer Wassereffizienz von 90 % (Tabelle 8). Diese schliesst sowohl unterirdische als auch oberirdische Verfahren wie die Tropfbewässerung mit ein. Es handelt sich dabei normalerweise um ortsfeste Anlagen. Diese werden ebenso wie die Rohrberegnung häufig im Gemüsebau oder bei anderen Sonderkulturen eingesetzt. Die Rohrberegnung gehört zusammen mit der stationären und mobilen Beregnung zu den Beregnungsverfahren, die eine Wassereffizienz von 60 % bis 80 % aufweisen (Tabelle 8). In der Schweiz werden in Kulturen wie Weizen, Mais und Grünland häufig mobile Beregnungsmaschinen, wie der Rollomat, eingesetzt [28]. Dieser weist eine hohe Einsatzflexibilität auf.

Tabelle 8: Wassereffizienz und Energiebedarf verschiedener Bewässerungsverfahren [26].

Verfahren	Oberflächen- bewässerung	Rohr- beregung	Stationäre Beregung	Mobile Beregung	Mikro- bewässerung
Wassereffizienz (%)	20-40	60-70	70-80	60	90
Energiebedarf (kWh/(ha*a))	0	810	609	1'000	160

Die Effizienz der Bewässerung hängt aber neben den Verfahren auch von der eigentlichen Wassermenge, die die Pflanze zu einem bestimmten Zeitpunkt benötigt, ab. Mithilfe von Bodensonden kann beispielsweise der optimale Zeitpunkt der Bewässerung bestimmt und somit unnötige Wassergaben verhindert werden [30]. Zusätzlich sind der Zeitpunkt der Bewässerung und damit einhergehend die klimatischen Bedingungen entscheidend. Bei warmen Temperaturen (z.B. in der Mittagshitze) ist eine Bewässerung aufgrund der hohen Verdunstungsrate, vor allem bei Beregnungsverfahren, nicht sinnvoll. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die betriebliche Situation und Arbeitsorganisation. Teilweise ist aus kulturtechnischen Gründen eine Bewässerung mit einem effizienten System nicht möglich oder zu aufwendig (z.B. ortsfeste Anlagen wie Mikrobewässerung bei Ackerkulturen in der Fruchtfolge). Zusätzliche Fragen zur ökologischen Nachhaltigkeit bestimmter Systeme sind ebenfalls nicht vollständig geklärt, wie beispielsweise der hohe Anteil an Verbrauchsmaterial (z.B. Schläuche) bei der Mikrobewässerung.

Die grossen Unterschiede der Bewässerungsverfahren bezüglich der Wassereffizienz machen deutlich, dass insbesondere in den als kritisch bewerteten Regionen des Kantons der Wahl des optimalen Verfahrens grosse Bedeutung zukommt.

4. ZUKÜNFTIGE HANDLUNGSACHSEN

Die Ergebnisse der Trockenheitsmodellierungen zeigen, dass je nach Modellregion und Szenario in manchen Regionen nicht genügend Wasser für die optimale Bewässerung der Kulturen zur Verfügung steht und die Bewässerungsbedürftigkeit in Zukunft ansteigen wird. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen haben das ALW und das AfU des Kantons Solothurn Handlungsachsen definiert, die bei der Erarbeitung eines Lösungskonzepts (Etappe 2) helfen sollen (Abbildung 24).

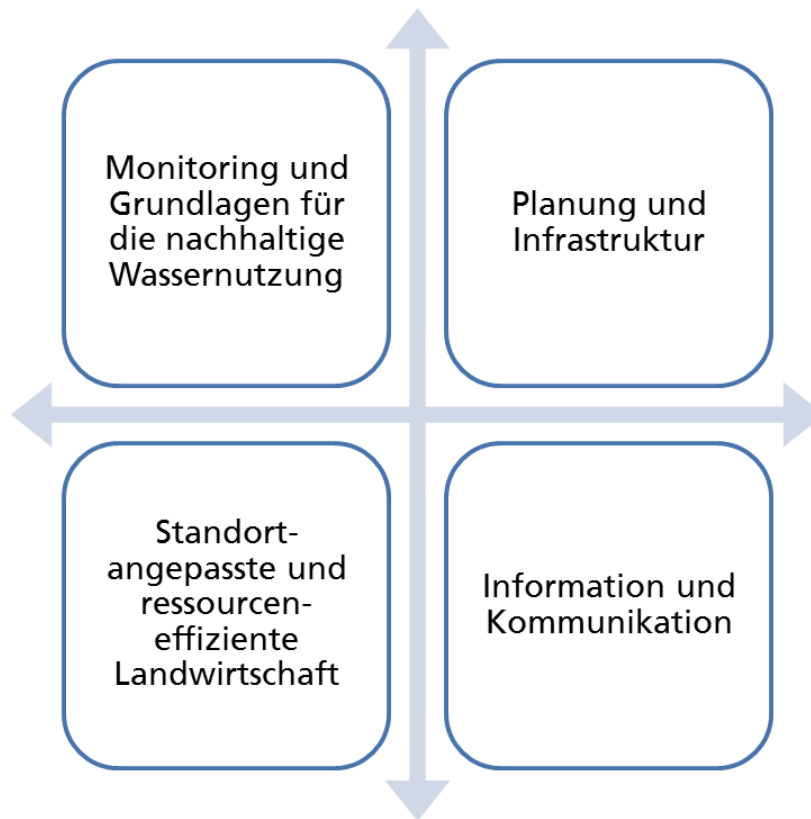


Abbildung 24: Definierte Handlungsachsen im Kanton Solothurn.

Handlungsachse Monitoring und Grundlagen für die nachhaltige Wassernutzung

Um Entscheide zur nachhaltigen Nutzung der Fliessgewässer und des Grundwassers im Kanton Solothurn treffen zu können, ist eine solide Wissensbasis und Datengrundlage essenziell. Diese Datengrundlagen schliessen sowohl Oberflächengewässer als auch das Grundwasser mit ein. Das Grundwasser wurde bei der Modellierung der Wasserbilanz der einzelnen Modellregionen nicht berücksichtigt. Für den Umgang mit der zunehmenden Trockenheit ist aber das gesamte Wasserdargebot mit einzubeziehen. Im Vordergrund stehen deshalb Massnahmen zum Monitoring des Wasserdargebots für die Oberflächengewässer und das Grundwasser sowie Abklärungen zu den Auswirkungen einer allfälligen zusätzlichen Grundwassernutzung. Zudem schliesst die Handlungsachse auch die Thematik der wassersparenden Bewässerungstechnologien mit ein.

Handlungsachse Planung und Infrastruktur

Um sowohl in feuchten als auch in trockenen Jahren einen reibungslosen Ablauf in Bezug auf Wasserentnahmen aus Oberflächengewässern oder dem Grundwasser durch die Landwirtschaft zu gewährleisten, ist eine solide Planung und gute Infrastruktur essenziell. Grössere Projekte in Bezug auf die Ressource Wasser müssen vor allem im Hinblick auf den Klimawandel nachhaltig und sinnvoll gestaltet werden. Für Trockenzeiten ergeben sich im Bereich der Planung, Organisation und allenfalls der Realisierung neuer Infrastrukturen verschiedene Massnahmen. Es sind dabei Fragen zum künftigen kantonalen und regionalen Wassermanagement, zur Bewilligungspraxis sowie der Organisation der Bewilligungsbehörde zu klären.

Handlungsachse Information und Kommunikation

Um die Ressourcen Wasser möglichst gut zu schützen, müssen alle relevanten Gruppen und Endverbraucher im Umgang mit dem Wasser, vor allem in Trockenphasen, sensibilisiert werden. Gleichzeitig benötigt es eine gute Koordination innerhalb der kantonalen Verwaltung, um auch in Krisenzeiten entsprechend kommunizieren zu können. Zu den Massnahmen gehören hier neben der Einsetzung einer kantonalen Koordinationsstelle, auch die Erstellung einer Informationsplattform, die in Krisenzeiten alle nötigen Informationen enthält.

Handlungsachse standortangepasste und ressourceneffiziente Landwirtschaft

Die Landwirtschaft wird sich mittel- bis langfristig an die zunehmenden Trockenperioden und abnehmenden Sommerniederschläge anpassen müssen, um die Auswirkungen des Klimawandels antizipieren zu können. Dabei stehen der Landwirtschaft verschiedene Möglichkeiten offen, um sich zu einer standort- und klimaangepassten und nachhaltigen Produktionsweise weiterzuentwickeln.

5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Auswirkungen des Klimawandels sind bereits heute spürbar. Hitzesommer, wie 2003 und 2018 haben gezeigt, dass die Natur und Landwirtschaft unter den hohen Temperaturen und spärlichen Niederschlägen leiden. Schlecht entwickelte oder vertrocknete Kulturen auf den Feldern, niedrige Wasserstände in den Flüssen und ausgetrocknete Böden sind die Folge.

Die Analyse und Bewertung des Trockenheitsrisikos und der Bewässerungssituation bezüglich der Wasserknappheit, Bewässerungsfläche, Wasser- und Bodenressource zeigen auf, dass vor allem in ackerbaubetonten Gebieten südlich des Jura das grösste Risiko für Trockenheit besteht. Die Modellregionen haben die höchsten Anteile an bewässerungswürdigen Kulturen und weisen allgemein auch die grösste landwirtschaftliche Nutzfläche des Kantons auf. In diesen Regionen muss langfristig geplant werden, wie man sich dieser neuen Herausforderung stellen möchte. Der Umgang mit den Ressourcen Wasser und Boden muss nachhaltig sein, sodass diese nicht gefährdet werden.

Die Daten zeigen jedoch auch, dass der Kanton Solothurn ein Grünlandkanton ist, dessen landwirtschaftliche Nutzfläche zu rund $\frac{2}{3}$ aus Weiden, Naturwiesen und Kunstwiesen besteht. Die wertschöpfenden und bereits heute stark von der Bewässerung abhängigen Kulturen, wie Gemüse und Obst, machen mit nur 3 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche einen sehr geringen Flächenanteil aus. Werden in Zukunft auch in grösserem Stil Ackerkulturen bewässert, muss das heutige Bewässerungsverfahren angepasst werden. Zudem müssen bei Überlegungen zum Trockenheitsrisiko und zur Bewässerung in der Landwirtschaft auch die Viehbetriebe mit einbezogen werden, da diese bei zunehmender Trockenheit mit grossen Futtermittelausfällen rechnen müssen.

Die Landwirtschaft hat verschiedenste Möglichkeiten sich an den Klimawandel und die zunehmenden Trockenperioden anzupassen. Trocken- und hitzeresistente Sorten und die schonende Bearbeitung des Bodens sind dabei nur zwei Beispiele. Wichtig ist, dass die Anpassungen auch auf lange Sicht gesehen nachhaltig sind und die Auswirkungen auf die Umwelt so gering wie möglich gehalten werden, um diese nicht zu schädigen.

Quellenverzeichnis

Textquellen

- [1] Amt für Umwelt, AfU (2016): Klimawandel – Risiken, Chancen und Handlungsfelder. Solothurn.
- [2] Regierungsratsbeschluss 2019/38: Interpellation Marie-Theres Widmer (CVP, Steinhof): Konsequenzen aus der Trockenhet 2018? Stellungnahme des Regierungsrates.
- [3] National Centre for Climate Services NCCS: Klimaszenarien 2018.
Online: <https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/klimawandel-und-auswirkungen/schweizer-klimaszenarien.html>
- [4] Amt für Umwelt, AfU (2008): Zustand Solothurner Gewässer. Solothurn.
- [5] Weingartner, R. (2019): Referat im Amt für Umwelt. Unveröffentlicht.
- [6] Amt für Umwelt, AfU (2012): Bericht zum Trockenjahr 2011. Immer weniger Wasser in solothurnischen Bächen. Solothurn.
- [7] Amt für Umwelt AfU: Umweltdaten, Fokus.
Online: afu.so.ch
- [8] Geoportal Kanton Solothurn: Bodeninformation. Web GIS Client.
Online: <https://geo.so.ch/map/?k=59bde25c8>
- [9] Kantonale Fachstellen Bodenschutz: Bodenmessnetz Nordwestschweiz.
Online: <https://www.bodenmessnetz.ch/>
- [10] Amt für Landwirtschaft ALW: Ressourcenprogramm Humus.
Online: <https://so.ch/verwaltung/volkswirtschaftsdepartement/amt-fuer-landwirtschaft/direktzahlungen-und-foerderprogramme/kantonale-foerderprogramme/ressourcenprogramm-humus/>
- [11] Weisskopf, P.; Zihlmann, U.; Oberholzer, H.-R.; Anken, T.; Holpp, M. (2014): Beeinflussen des Wasserhaushaltes von Ackerböden durch Bewirtschaftungsmassnahmen. Präsentation zur Fachtagung "Wasser in Landwirtschaft", 23.01.2014, Agroscope.
- [12] Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, BLE: Bewässerung in der Landwirtschaft. Bundesinformationszentrum Landwirtschaft. Deutschland.
Online: <https://www.praxis-agrar.de/pflanze/bewaesserung/bewaesserung-in-der-landwirtschaft/>
- [13] Seidel, Sabine: Bedeutung des Wassers für Nährstoffhaushalt und Pflanzenentwicklung. Präsentation Universität Bonn.
Online: http://www.koordinierungsstelle-bewaesserung.de/fileadmin/user_upload/Bund/2017-02-07_Vortrag_Wasser_und_Naehrstoffhaushalt_Seidel.pdf
- [14] Gobat, J.-M.; Aragno, M. ; Matthey, W. (2010): Le sol vivant. Bases de pédologie - Biologie des sols.
- [15] Schweizerischer Bundesrat (2020): Bodenstrategie Schweiz für einen nachhaltigen Umgang mit dem Boden. Bern.
- [16] Fuhrer, J. (2010): Abschätzung des Bewässerungsbedarfs in der Schweizer Landwirtschaft. Abschlussbericht. Eidgenössisches Volkswirtschaftsdepartement EVD, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART.

- [17] Landesanstalt für Pflanzenbau (2002): Beregnung und Bewässerung landwirtschaftlicher und gärtnerischer Kulturen. Merkblätter für die Umweltgerechte Landbewirtschaftung. Baden-Württemberg, Deutschland.
- [18] Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften, HAFL: Bewässerungsnetz.
Online: <https://bewaesserungsnetz.ch/>
- [19] Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg MLUV (2005): Leitfaden zur Beregnung landwirtschaftlicher Kulturen. Deutschland.
- [20] Geoportal Kanton Solothurn: Drainagepläne. Web GIS Client.
Online: <https://geo.so.ch/map/?k=c8c6f69dbq>
- [21] Amt für Umwelt AfU (2017): Böden im Kanton Solothurn. Solothurn.
- [22] Bundesamt für Landwirtschaft BLW (2019): Agrarbericht 2019. Bern.
- [23] Schweizer Bauernverband SBV (2019): Schweizer Landwirtschaft im (Klima)wandel. Fokus. Brugg.
Online: https://www.sbv-usp.ch/fileadmin/sbvuspch/04_Medien/Medienmitteilungen/IPM_2019/FOKUS03_DE_web.pdf
- [24] Verordnung über die Strukturverbesserung in der Landwirtschaft (Strukturverbesserungsverordnung, SVV), SR 913.1.
- [25] Egli Engineering AG (2019): Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel. Resultatbericht. Solothurn. Amt für Landwirtschaft, Amt für Umwelt des Kantons Solothurn. Unveröffentlicht.
- [26] Fuhrer, J.; Smith, P. (2015): Grundlagen für die Abschätzung des Bewässerungsbedarfs im Kanton Basel-Landschaft. Agroscope, Bundesamt für Umwelt BAFU.
- [27] Amt für Landwirtschaft ALW (2018): Landwirtschaftliche Daten aus den Agrardatenbank GELAN.
- [28] Zorn, A.; Lips, M. (2016): Wirtschaftlichkeit der Bewässerung ausgewählter Kulturen im Kanton Basel-Landschaft. Agroscope.
- [29] Fuhrer, J., Holzkämper, A., Klein, T.; Tendall, D.; Lehmann, N. (2013): Wasser und Schweizer Landwirtschaft. Das Projekt AGWAM im Rahmen des NFP 61. Wasserbedarf der Landwirtschaft. In: Aqua & Gas Nr. 7/8.
- [30] Kaiser, A. und Marti, A. (2017): Bodensonden: Das Bodenwasser sichtbar machen. In: LANDfreund, Ausgabe 06/2017.

Bildquellen

- [a] <https://www.bauernzeitung.ch/artikel/agroforst-die-fachexpertin-im-interview-ueber-vor-und-nachteile>
<https://schweizerbrot.ch/blog/der-ursprung-des-urdinkels/>
<https://www.agrarheute.com/pflanze/10-fakten-wasserverbrauch-landwirtschaft-543122>
<https://www.bauernzeitung.ch/artikel/agroforst-die-fachexpertin-im-interview-ueber-vor-und-nachteile>
<https://www.agrarheute.com/pflanze/kartoffeln/kartoffelkaefer-blattlaeuse-diese-mittel-erlaubt-545130>

[b] Trockenheitsbericht AfU 2011: Trockene Jahre - immer weniger Wasser in den solothurnischen Bächen. Solothurn.

*[https://so.ch/verwaltung/bau-und-justizdepartement/amt-fuer-umwelt/boden-
untergrund-geologie/boden/bodenkartierung/bodentypen/](https://so.ch/verwaltung/bau-und-justizdepartement/amt-fuer-umwelt/boden-
untergrund-geologie/boden/bodenkartierung/bodentypen/)*

Anhang

Anhang 1: Bewertungsschemas zur Bewertung des Trockenheitsrisikos und der Bewässerungssituation

Bewertungsschema Wasserknappheit – besonders gefährdete Gebiete Bewässerungsbedürftigkeit

		Negative Wasserbilanz (Gesamtwasserknappheit) bei ausgewählten Trockenheitsszenarien				
		nie	bei EXT (mit KW)	bei EXT (mit/ohne KW)	bei EXT (mit/ohne KW) und MAX (mit KW)	bei EXT (mit/ohne KW) und MAX (mit/ohne KW)
Maximales Wasserdefizit in m³ (im Szenario EXT, mit KW)	bis 1 Mio. m ³	0	1	1	2	2
	bis 2 Mio. m ³	1	1	2	2	3
	bis 3 Mio. m ³	1	2	2	3	3
	bis 4 Mio. m ³	2	2	3	3	4
	bis 5 Mio. m ³	2	3	3	4	4



- 0: Risiko zu Wasserknappheit gering
 1: Risiko zu Wasserknappheit gering bis mittel
 2: Risiko zu Wasserknappheit mittel
 3: Risiko zu Wasserknappheit mittel bis gross
 4: Risiko zu Wasserknappheit gross

Bewertungsschema Bewässerungsfläche – Zusammensetzung der Kulturen Bewässerungswürdigkeit

		Anteil der Fläche mit bewässerungswürdigen Acker- und Dauerkulturen (mit KW)				
		an der Fläche der Acker- und Dauerkulturen pro Modellregion				
		bis 50 %	bis 60 %	bis 70 %	bis 80 %	bis 90 %
Anteil der Fläche an Acker- und Dauerkulturen an deren kantonaler Gesamtfläche	bis 4 %	0	1	1	1	1
	bis 8 %	1	2	2	2	3
	bis 12 %	1	2	3	3	3
	bis 16 %	1	2	3	4	4
	bis 20 %	1	3	3	4	4

- 0: potenzielle Bewässerungsfläche klein
 1: potenzielle Bewässerungsfläche klein bis mittel
 2: potenzielle Bewässerungsfläche mittel
 3: potenzielle Bewässerungsfläche mittel bis gross
 4: potenzielle Bewässerungsfläche gross

Bewertungsschema Ressourcen Wasser – Oberflächengewässer und Grundwasser Bewässerungsmachbarkeit

		Potenzial Oberflächengewässer				
		Grosse Fließgewässer vorhanden				Nur kleine Fließgewässer
Potenzial Grundwasser	Überregionaler Grundwasserspeicher	0	1	2	3	4
		1	1	2	3	4
		2	2	2	3	4
		3	3	3	3	4
	Lokales Grundwasservorkommen	4	4	4	4	4

- 0: Potenzial für vorhandene Wasserressourcen gross
 1: Potenzial für vorhandene Wasserressourcen mittel bis gross
 2: Potenzial für vorhandene Wasserressourcen mittel
 3: Potenzial für vorhandene Wasserressourcen klein bis mittel
 4: Potenzial für vorhandene Wasserressourcen klein

Bewertungsschema Bodenressource – Wasserspeichervermögen Bewässerungswürdigkeit

Hinweis: Die Bewertung der Ressourcen Boden pro Modellregion nach diesem Bewertungsschema (Tabelle 4) konnte nicht durchgeführt werden, da die Böden zu heterogen sind, um eine allgemeingültige Aussage auf Basis der Modellregionen machen zu können.

		Potenzial des maximalen pflanzennutzbaren Wasservorrats des durchwurzelbaren Bodenraums				
		mehrheitlich sehr gross (> 250mm)	mehrheitlich gross (150 – 250 mm)	mehrheitlich mässig (100 – 150 mm)	mehrheitlich gering (50 – 100 mm)	mehrheitlich sehr gering (< 50mm)
Einfluss von Stau- und Grund-/Hangwasser	kein Einfluss des Stau- und Grundwassers	0	1	2	3	4
	leichter Einfluss von Stauwasser	0	1	2	3	4
	leichter Einfluss von Grund- oder Hangwasser	0	1	1	2	3
	starker Einfluss von Stauwasser	0	1	2	2	3
	starker Einfluss von Grund- oder Hangwasser	0	0	1	1	2

- 0: Potenzial für Wasserangebot der Böden gross
 1: Potenzial für Wasserangebot der Böden mittel bis gross
 2: Potenzial für Wasserangebot der Böden mittel
 3: Potenzial für Wasserangebot der Böden klein bis mittel
 4: Potenzial für Wasserangebot der Böden klein