



Alexander Zorn, Markus Lips | 7. Oktober 2016

**Bericht zuhanden dem Landwirtschaftlichen Zentrum Ebenrain**

---

# Wirtschaftlichkeit der Bewässerung ausgewählter Kulturen im Kanton Basel-Landschaft

---

## Zusammenfassung

Für sechs Kulturen, Winterweizen, Körnermais, Kunstwiese, Kartoffeln, Erdbeeren und Kirschen wird die Wirtschaftlichkeit der Bewässerung untersucht. Dabei werden drei Bodentypen und drei Klimaszenarien unterschieden. Mittels Kostenkalkulation wird nun die Wirtschaftlichkeit mit ohne und mit Bewässerung verglichen, wobei der resultierende Stundenlohn als Kriterium verwendet wird. Den Einfluss der Bewässerung auf die Qualität der Erzeugnisse wird nicht berücksichtigt.

Die Resultate fallen je nach Kultur sehr unterschiedlich aus. Während sich bei Winterweizen und Kunstwiese die Bewässerung nie lohnt, lohnt sie sich bei Körnermais bei tiefgründigen Böden. Im Falle von Kartoffeln macht die Bewässerung bei starkem Klimawandel aus wirtschaftlicher Sicht Sinn. Bei Erdbeeren und Kirschen ist die Bewässerung in allen untersuchten Fällen wirtschaftlich von Vorteil.

## Impressum

Herausgeber:	Agroscope, Institut für Nachhaltigkeitswissenschaften, INH
Auskünfte:	A. Zorn, alexander.zorn@agroscope.admin.ch
Redaktion:	A. Zorn, M. Lips
Copyright:	© Agroscope 2016

Auftraggeber:  
Amt für Umweltschutz und Energie, Kanton Basel-Landschaft



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



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Bundesamt für Umwelt BAFU**

## 1. Auftragsbeschreibung

Aufgrund des Klimawandels besteht bei Ackerkulturen und Grünland zunehmend das Risiko, dass der Wasserbedarf nicht mehr über natürliche Niederschläge gedeckt ist und Einbussen sowohl in quantitativer als auch qualitativer Hinsicht resultieren. Bewässerungsmassnahmen wirken dem entgegen, sind ihrerseits aber mit Kosten verbunden.

Anhand dreier Klimamodell-Szenarien zur Abschätzung des Bewässerungsbedarfs im Kanton Basel-Landschaft und Angaben zu potenziellen Ertragsabweichungen werden mit Hilfe von Kosten-/Leistungsrechnungen für sechs Kulturen und unterschiedliche Bodenverhältnisse jeweils zwei Varianten kalkuliert:

- Fortführung der gegenwärtigen Bewirtschaftung und deren Bewässerungsintensität
- Anpassung der Bewässerungsintensität, um Ertragsausfälle zu verhindern

Die betrachteten Kulturen können unterschieden werden in Kulturen, welche gegenwärtig üblicherweise bewässert werden, wie Kartoffeln, Kirschen und Erdbeeren, sowie Kulturen, die bislang im Untersuchungsgebiet in der Regel keine Bewässerung aufweisen, wie Winterweizen, Körnermais und Kunstwiese. Der Vergleich der Varianten anhand der erzielten Leistungen und Kosten zeigt die wirtschaftlichen Konsequenzen veränderter klimatischer Bedingungen für die Landwirtschaft und die Wirtschaftlichkeit von Bewässerungsmassnahmen. Die Ergebnisse werden in Bezug zum Gewinn pro Hektare bzw. zur resultierenden Arbeitsverwertung (d.h. dem realisierten Stundenlohn) gesetzt. Um die Arbeitsverwertung zu bestimmen wird zum kalkulatorischen Gewinn der kalkulatorische Arbeitsansatz in Höhe von Fr. 28.– je Stunde hinzuaddiert und die Summe durch die eingesetzten Arbeitsstunden geteilt. Zusätzlich werden die Vermeidungskosten pro Dezitonne (dt = 100 kg) Ertragsausfall berechnet (Bewässerungskosten pro Hektare / dt vermiedener Ertragsausfall pro Hektare). Aus diesen Kalkulationen können Schlussfolgerungen gezogen werden, bei welchen Kulturen die Anpassung der Bewässerungsintensität im Kanton Basel-Landschaft unter den drei Klimaszenarien wirtschaftlich sinnvoll sind.

Folgende Klimamodell-Szenarien werden analysiert:

- CC min.; Klimaszenario 2060 SMHI-RCA-BCM A1B (CH2011)<sup>1</sup>
- CC max.; Klimaszenario 2060 ETHZ-HadCM3Q0-CLM A1B (CH2011)<sup>1</sup>
- Extrem; Klimaszenario 4014 als Kombination der Jahre 2003 und 2011

Die Kosten der Bewässerung werden bestimmt durch die Wasserbereitstellung (Brunnen, Pumpe, Zuleitung), die Beregnungsanlage, ggf. notwendige Fahrzeuge und Zubehör, Reparaturen, Betriebsstoffe, Arbeitskosten (der Lohn von Angestellten oder ein Opportunitätskostenansatz für Familienarbeitskräfte) und die Kosten des Wassers (KTBL 2013). Die Kosten der Wasserentnahme aus Gewässern im Kanton Basel-Landschaft werden in Kapitel 3 dargelegt. Die Bewässerungskosten hängen wesentlich ab vom angewandten Verfahren (Kosten Infrastruktur, Beregnung) und dem Einsatzort (Wasser Verfügbarkeit, anbaubare Kulturen und ihre Beregnungswürdigkeit, Feld-Hof-Entfernung). Mit zunehmender Schlaggrösse bzw. bewässerter Fläche (z. B. einer Bewässerungsgemeinschaft) ist infolge von Skaleneffekten von abnehmenden Bewässerungskosten je Flächeneinheit auszugehen.

Zur Beurteilung der Förderwürdigkeit von „Massnahmen zur Erhaltung und Verbesserung von Struktur und Wasserhaushalt des Bodens“ (Art. 14c der Strukturverbesserungsverordnung (SVV), Schweizerischer Bundesrat 1998) wird auf die Kriterien *Bewässerungsbedürftigkeit*, *Bewässerungsmachbarkeit*, *Bewässerungswürdigkeit* und – seit der letzten Überarbeitung der Erläuterungen zur SVV auch auf – die *Effizienz der Bewässerung* verwiesen (Béguin und Schild 2015; BLW 2015). Die **Bewässerungsbedürftigkeit** berücksichtigt v.a. klimatologische Aspekte (Menge der Niederschläge und deren Verteilung); eine Bewässerungsbedürftigkeit ist gegeben, wenn infolge Wassermangels spürbare Ertrags- und Qualitätseinbussen zu erwarten sind (Fricke und Heidorn 2003; Fuhrer 2010). Die **Bewässerungsmachbarkeit** zielt auf die technische Umsetzbarkeit (Wasserbezug) und auch Auswirkungen auf Natur, Landschaft und Gewässer (BLW 2015). Die **Bewässerungswürdigkeit** ist eine kultur- und standortabhängige ökonomische Beurteilung (Marbot *et al.* 2013), ob die Kosten der Bewässerung durch die vermiedenen Ertragsausfälle aufgewogen werden können (Mastel 2002).

Im folgenden Kapitel werden die natürlichen und strukturellen Bedingungen der Landwirtschaft im Kanton Basel-Landschaft dargelegt. Anschliessend werden im Kapitel 3 die rechtlichen Rahmenbedingungen der Bewässerung kurz vorgestellt. Die Verfahren zur Bewässerung werden im Kapitel 4 eingeführt. Konzeptionell werden im Folgekapitel 5 dann die Kosten und der Nutzen von Bewässerungsmassnahmen

---

<sup>1</sup> Szenarien gemäss dem Projekt CH2011 (Swiss Climate Change Scenarios, [www.ch2011.ch/de](http://www.ch2011.ch/de)).

men aufgezeigt. Die in dieser Studie angewandten Methoden und Daten werden in Kapitel 6 beschrieben, bevor im Folgekapitel dann die Ergebnisse vorgestellt werden, welche im Schlusskapitel 8 diskutiert werden.

## 2. Landwirtschaft im Kanton Basel-Landschaft

Der Kanton Basel-Landschaft umfasste im Jahr 2015 rund 21'600 ha landwirtschaftliche Nutzfläche (LN); dies entspricht einem Anteil von 2,1 % der Schweizer LN (BFS 2016). Der Grossteil der LN besteht aus Grünflächen (71 %: Kunstwiesen, Naturwiesen und Weiden ohne Sömmerungsweiden). Die offene Ackerfläche umfasst 26 % der LN im Kanton. Der Ackerbau wird vom Getreideanbau dominiert, welcher 60 % der Ackerfläche umfasst. Etwa ein Drittel der Nutzfläche gehört zur Talzone, rund die Hälfte zum Hügelland und der Rest wird dem Berggebiet zugerechnet (Kanton Basel-Landschaft o.J.).

Geographisch lässt sich das Gebiet in vier Regionen einteilen:

- 1) Unterbaselbiet  
In diesem warmen und niederschlagsarmen Gebiet wird auf fruchtbaren Lössböden Ackerbau, Gemüse und Obstbau betrieben;
- 2) Tafeljura  
Ackerbau wird auf den Ebenen des Tafeljura betrieben, während sich Südhänge für den Obst- und Weinbau eignen;
- 3) Kettenjura  
In diesem bis über 1'000 m Höhe reichenden Gebiet sind meist wenig fruchtbare Böden anzutreffen. Das Landschaftsbild wird von Weiden für die Tierzucht bestimmt;
- 4) Laufental  
In den Talflächen des Laufentals ähneln die Bedingungen jenen im Unterbaselbiet, während sie auf den Hügeln jenen des Kettenjura entsprechen (Statistisches Amt des Kantons Basel-Landschaft 2015).

Im Jahr 2015 gab es im Kanton 936 Landwirtschaftsbetriebe. Davon werden 67 % im Haupterwerb betrieben. Im Mittel bewirtschaftet ein Haupterwerbsbetrieb 29,1 ha LN. Dieser Wert liegt über dem Schweizer Durchschnitt von 24,1 ha LN je Haupterwerbsbetrieb (BFS 2016). Daten zur mittleren Schlaggrösse liegen für die Untersuchungsregion nicht vor.

## 3. Rechtliche Rahmenbedingungen der Feldbewässerung im Kanton Basel-Landschaft

Das Gewässerschutzgesetz (GSchG, SR 814.20) bezweckt den Schutz ober- und unterirdischer Gewässer. Gemäss Artikel 1f. dient dieses Gesetz jedoch explizit auch der landwirtschaftlichen Bewässerung. So wird im Artikel 33, Abs. 3 u. a. die landwirtschaftliche Bewässerung namentlich als Argument gegen die Wasserentnahme anderer (konkurrierender) Nutzer erwähnt.

Zur Wasserentnahme aus **Oberflächengewässern** wird grundsätzlich eine Bewilligung benötigt (Art. 29, GSchG). Die Entnahme ist an Bedingungen, insbesondere bezüglich Restwassermenge geknüpft. Dies ist die minimale Abflussmenge eines Gewässers, welche nach der Entnahme von Wasser verbleiben muss. Der Vollzug des Gewässerschutzgesetzes obliegt dem Kanton.

Im Wasserbaugesetz (WBauG) des Kantons Basel-Landschaft werden kostendeckende Gebühren für die Bewilligung und Erteilung von Konzessionen zur Wasserentnahme aus Gewässern bestimmt (Art. 32). Diese Bewilligungsgebühr beträgt ca. Fr. 200.– (Amt für Umweltschutz und Energie 2016). Zusätzlich sind jährliche Nutzungsgebühren zu entrichten, die für die Wasserentnahme aus Gewässern bis zu 10 Rp./m<sup>3</sup> betragen können, im Jahr jedoch mindestens 100 Franken betragen (Kanton Basel-Landschaft 2014). Für die Landwirtschaft ist von einer Nutzungsgebühr von etwa 4 Rp./m<sup>3</sup> auszugehen (Gysin 2016c). Ab einem jährlichen Bewässerungsbedarf von 2'500 m<sup>3</sup> wird demnach die Mindest-Nutzungsgebühr von 100 Franken erreicht.

Analog legt die Verordnung über die Wasserversorgung sowie die Nutzung und den Schutz des **Grundwassers** Gebühren für die Erteilung von Konzessionen und Bewilligungen zur Grundwassernutzungen fest. Für die Konzessionsgebühr ist von einmaligen Kosten in Höhe von Fr. 1'000.– auszugehen<sup>2</sup>. Die Nutzungsgebühr für Grundwasser beträgt 5 Rp./m<sup>3</sup> (Gysin 2016c).

---

<sup>2</sup> Bei einer 30-jährigen Nutzungsdauer entspricht dies jährlichen Kosten von rund Fr. 50.– je Brunnen.

Die Bewässerung mit Wasser aus dem **Trinkwasser-Netz** war im Kanton Basel-Landschaft vor etwa zehn Jahren bemerkenswert hoch (Weber und Schild 2007). Die Nutzung von Trinkwasser zur Bewässerung ist seitens der Wasserversorger nicht erwünscht. Durch den Bezug von qualitativ hochwertigem Trinkwasser für den Ackerbau würde in Zeiten allgemein hoher Wassernachfrage die Nachfrage noch erhöht. Dies erforderte eine als unwirtschaftlich einzustufende Überdimensionierung der Wasseranlagen (Gysin 2016c). Daher wird diese Art des Wasserbezugs im Folgenden nicht betrachtet.

#### 4. Bewässerung

Als wesentlicher Nutzen der Bewässerung ist die Sicherung des Ertrages bzw. die Erzielung eines Mehrertrages (Mengeneffekt) zu nennen. Daneben trägt die Bewässerung auch zu qualitativen Ertrags-effekten bei (z. B. der Stärkegehalt von Kartoffeln, Grünig 2007). Der qualitative Aspekt ist beispielsweise im Gemüsebau, dessen Erzeugnisse auf Wassermangel sehr sensibel reagieren, wesentlicher Grund für die Bewässerung. Die Bewässerung kann schliesslich auch zu einer effizienteren Produktion beitragen, da bei einer verbesserten Wasserversorgung das Ertragspotenzial einer Kultur besser ausgeschöpft werden kann (von Haaren und von Haaren 2014). So kann eine gute Wasserversorgung sowohl das Nährstoffaneignungsvermögen von Pflanzen als auch die Nährstoffverfügbarkeit im Boden positiv beeinflussen. Eine gute Bewässerungssteuerung kann die Gefahr von Nährstoffverlagerungen bzw. -auswaschungen reduzieren (Fricke 2003). Eine effizientere Produktion bedeutet auch einen geringeren Einsatz von Energie, Pflanzenschutzmitteln und Dünger je erzeugter Einheit und kann daher auch mit geringeren Umweltbelastungen einhergehen. Abgedeckte Kulturen wie Kirschen erfordern den Ausgleich des fehlenden natürlichen Niederschlags.

Die Verfahren der Bewässerung werden grundsätzlich in Oberflächenbewässerung, Mikrobewässerung und Beregnung unterschieden (vgl. Abbildung 1). Verfahren der Mikrobewässerung werden in ober- und unterirdische Verfahren differenziert. Die zur Beregnung verwendeten Anlagen werden gemäss ihrer Mobilität in ortsfeste, teilortsfeste und mobile Anlagen differenziert (Fuhrer und Smith 2015). Mit etwa 76 % stammte im Jahr 2006<sup>3</sup> der Grossteil des Bewässerungswassers in der Schweiz aus Suonen. Aus Oberflächengewässern (Flüssen, Kanäle und Bäche, Seen) werden rund 15 %, aus dem Grundwasser etwa 8 % und aus der Trinkwasserversorgung nur 1 % des Wassers zur Bewässerung bezogen (Weber und Schild 2007).

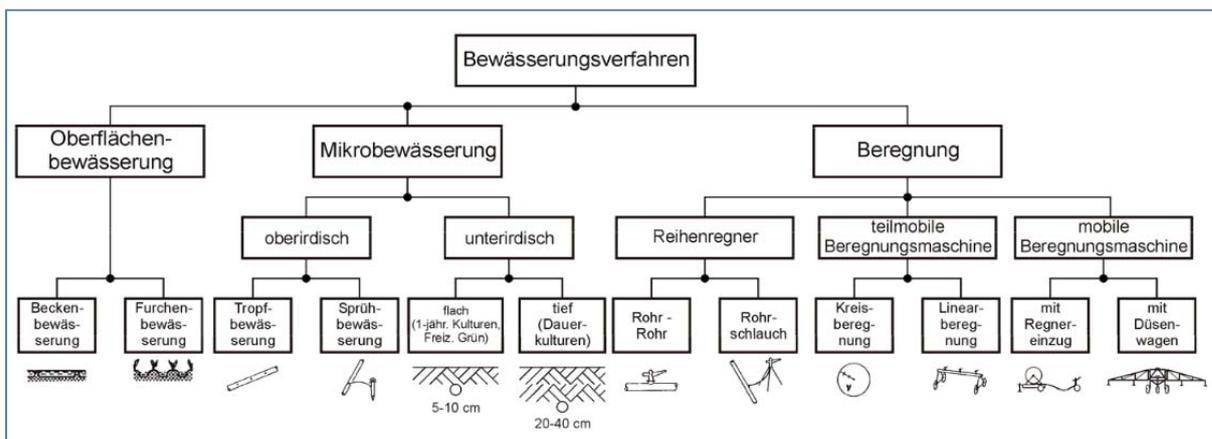


Abbildung 1: Verfahren der Bewässerung (Fuhrer und Smith 2015; Teichert 2009)

##### a. Verfahren der Bewässerung

Die **Oberflächenbewässerung** ist ein altes und weltweit noch sehr verbreitetes Bewässerungsverfahren. In der Schweiz gehören die Suonen dazu (Stadler 2006), die vor zehn Jahren in der Schweiz noch den Grossteil des Bewässerungswassers bereitstellten (Weber und Schild 2007) und vor allem in den Kantonen Wallis und Graubünden verbreitet sind. Verfahren der Oberflächenbewässerung sind gekenn-

<sup>3</sup> Im Jahr 2006 führte die Abteilung Strukturverbesserungen des Bundesamtes für Landwirtschaft erstmals eine systematische und flächendeckende Datenerhebung durch, „Stand der Bewässerung in der Schweiz“ (Weber und Schild 2007). Die für die Strukturverbesserung zuständigen Amtsstellen der Kantone erstellten für diese Studie Schätzungen der Bewässerung. Seither wurde keine vergleichbare Datenerhebung durchgeführt.

zeichnet durch einen hohen Arbeitsaufwand, eine geringe Wassereffizienz sowie ein hohes Auswaschungs- und Abschwemmungsrisiko (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) 2008). Die Eignung dieser Verfahren beschränkt sich auf kleine Flächen (Fuhrer und Smith 2015).

Die **Mikrobewässerung** umfasst ober- und unterirdische Verfahren. Die Anlagen sind in der Regel ortsfest (Fuhrer und Smith 2015) und mit einem hohen Kapital- und Arbeitszeiteinsatz verbunden (KTBL 2013). Ausserdem gehen Verfahren der Mikrobewässerung teils mit eingeschränkten Bearbeitungsmöglichkeiten (Bodenbearbeitung, Pflege, Ernte) einher. Die Mikrobewässerung wird primär bei Sonderkulturen, z. B. Dauerkulturen wie Kirschen eingesetzt, teilweise auch bei Kartoffeln (KTBL 2013; LfL 2008).

Die **Beregnung** umfasst mobile und ortsfeste Verfahren. Reihenregner sind in der Regel ortsfest und vor allem im Gemüsebau verbreitet; die Beregnung grosser Flächen mit diesem Verfahren erfordert einen hohen Kapitaleinsatz. Teilmobile Beregnungsmaschinen sind an einen fixen Einsatzort gebunden, auf welchem sie sich bewegen. Die Anlagen stellen gewisse Anforderungen an die Schlaggrösse und -form. Als Mindestgrösse für eine teilmobile Anlage werden 25 ha genannt. Die Kreis- und Linearberegnung sind besonders in Nordamerika verbreitet, aber auch in europäischen Regionen mit grossen Schlaggrössen (z. B. Ostdeutschland) und hohem Beregnungsbedarf anzutreffen (LfL 2008). Im Ackerbau und insbesondere bei den Kulturen Weizen, Mais und Grünland werden in erste Linie mobile Beregnungsmaschinen eingesetzt. Diese bestehen aus einer Schlauchtrommel und einem Regnerwagen, der mit der Trommel durch den wasserführenden Schlauch (Rollomat) verbunden ist. Auf dem Wagen wird das Wasser mit einem Regner verteilt. Mobile Systeme weisen eine hohe Einsatzflexibilität auf. Der Kapitalbedarf des Düsenwagens ist höher als bei einem Regner, jedoch ist dafür die Verteilgenauigkeit höher und der Energiebedarf geringer.

## **b. Wahl der Bewässerungsverfahren**

Ausgehend von der Fragestellung und einer mittleren Betriebsgrösse von 29 ha im Kanton Basel-Landschaft wird für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Kulturen Winterweizen, Körnermais, Kunstwiese, Kartoffeln und Erdbeeren das Verfahren „Mobile Beregnungsmaschine mit Regnereinzug“ (Rollomat) gewählt. Dieses Verfahren zeichnet sich im Vergleich mit anderen Verfahren insbesondere durch den flexiblen Einsatz (hohe Mobilität sowie Schlagkraft) und einen vergleichsweise geringen Kapital- und Arbeitsbedarf aus. Der Einsatz bietet sich insbesondere auf kleineren, wechselnden Ackerflächen an (Fuhrer und Smith 2015; Mastel 2002). Ausserdem ist das Verfahren in der Praxis gut eingeführt.

Im Obstbau ist die grossflächige Beregnung nur zur Frostbekämpfung sinnvoll. Hier kommen im Wesentlichen die Tropfbewässerung und Mikrosprinkler zum Einsatz (Monney 2010). Für Kirschen wird deshalb das für diese Kultur im Kanton bereits verbreitete Verfahren der Bewässerung mit Mikrosprinklern zugrunde gelegt (Kantonale Fachstellen für Obstbau *et al.* 2016).

## **5. Methode/Daten**

### **a. Wasserbedarf**

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Bewässerungsmassnahmen stützt sich diese Untersuchung auf die kulturspezifische Bewässerungsbedürftigkeit, welche in einem Bericht für den Kanton Basel-Landschaft für verschiedene Klimaszenarien, Bodentypen und unterschiedliche Durchwurzelungstiefen bestimmt wurde (Fuhrer und Smith 2015). Für insgesamt 13 Kulturen listet dieser Bericht die monatlichen bodenspezifischen Wasserbedarfsmengen (mm bzw. l/m<sup>2</sup> bzw. 10 m<sup>3</sup>/ha) für die Referenzperiode sowie die Klimamodelle auf, die notwendig sind, um Ertragsverluste zu vermeiden. Die Referenzperiode ist das mittlere Klima des Zeitraums 1982-2010. Für den Zeithorizont bis zum Jahr 2060 wurde zur möglichen Entwicklung des Klimas ein mildes Szenario (CC min.), ein starkes (CC max.) sowie ein extremes Szenario entwickelt. Ausserdem wurden die Bodentypen tiefgründige Braunerde (Boden 1, mehr als 100 cm tief, Texturklasse „toniger Lehm“), tiefgründige Parabraunerde (Boden 2, mehr als 100 cm tief, Texturklasse „sandiger Lehm“) sowie mässig tiefgründige Kalkbraunerde (Boden 3, weniger als 60 cm tief, Texturklasse „sandiger Lehm“) unterschieden. Die drei Bodentypen unterscheiden sich hinsichtlich der Wassermengen, welche den Pflanzen zur Verfügung stehen. Detaillierte Informationen und weiterführende Quellenangaben zu den Klimamodellen, den Bodentypen und der Durchwurzelungstiefe finden sich im Bericht „Grundlagen für die Abschätzung des Bewässerungsbedarfs im Kanton Basel-Landschaft“ von Jürg Fuhrer und Pascale Smith (2015).

Im Obstbau hat infolge der zunehmenden Intensivierung und höherer Ertrags- und Qualitätsanforderungen die Bewässerung stark an Bedeutung zugenommen (Monney 2010). So wird im Untersuchungsgebiet davon ausgegangen, dass der erfolgreiche Anbau von (Tafel-)Kirschen ohne Bewässerung heute nicht mehr möglich ist (Gysin 2016b). Bei dieser Kultur werden für die Bewässerung in Abweichung vom o. g. Bericht (Fuhrer und Smith 2015, welcher in der Referenz nur bei einem Bodentyp einen geringen Bewässerungsbedarf in Höhe von 10 mm dokumentiert) für die Referenz gegenwärtig in der Praxis übliche Bewässerungsmengen zugrunde gelegt (Gysin 2016b). Der in Relation zur Referenz veränderte Bewässerungsbedarf wird anhand der monatlichen Niederschlagsmengen der drei Klimamodelle (Fuhrer und Smith 2015) abgeleitet und Niederschlagsdefizite werden durch Bewässerung ausgeglichen.

Angaben zum prozentualen Ertragsausfall im Falle der Nichtbewässerung (Gysin 2016a, 2016b) für die Referenz und die drei Klimamodelle ergänzen die Daten zum Bewässerungsbedarf. Die Angaben zu Ertragsabweichungen sind nicht nach Bodentypen differenziert. Daher wird im Weiteren davon ausgegangen, dass diese den Ertrag nicht beeinflussen. Beim Zusammenführen der Informationen zum Bewässerungsbedarf (Fuhrer und Smith 2015) mit den Angaben zu Ertragsabweichungen ohne Bewässerung (Gysin 2016a) zeigte sich, dass für einzelne Kulturen zwar ein Bewässerungsbedarf ausgewiesen war, die Nicht-Bewässerung jedoch keinen Ertragsausfall zur Folge hat. In Rücksprache mit dem Auftraggeber wurde festgelegt, dass in Fällen, in welchen kein Ertragsausfall droht (z. B. bei den Kulturen Winterweizen und Körnermais im Szenario CC min), auch nicht bewässert wird.

## b. Kosten-Leistungsrechnung

In Tabelle 1 ist die Struktur der Kosten-/Leistungsrechnung für das Beispiel einer Hektare Weizen dargestellt. Die Leistungen bestehen aus dem verkauften Hauptprodukt (z. B. Weizen) und möglichen Nebenleistungen (z. B. Stroh) sowie den Direktzahlungen. Zieht man von den Leistungen die Vollkosten ab, ergibt sich der kalkulatorischen Gewinn bzw. Verlust ergibt. Daraus kann weiter die Arbeitsverwertung, d. h. der resultierende Stundenlohn berechnet werden. Die Vollkosten bestehen aus den Direktkosten wie Saatgut, Pflanzenschutz oder der Prämie für die Hagelversicherung, den (Pacht-) Kosten für das Land als auch den Gemeinkosten, d.h. aus der Arbeit, den Maschinenkosten und anderen Gemeinkosten (u.a. Gebäudekosten, Telefon oder Kosten für die Weiterbildung des Betriebsleitenden).

**Tabelle 1:** Kosten-/Leistungsrechnung pro Hektare Weizen

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	

Aus bestehenden Datenquellen wie dem Deckungsbeitragskatalog (AGRIDEA und FiBL 2015), dem Kalkulationsprogramm Beerenkost (Dietiker 2013), einer Anbauempfehlung für Obst (Kantonale Fachstellen für Obstbau *et al.* 2016), der Zentralen Auswertung von Buchhaltungsdaten (Hoop und Schmid 2015) und Vollkostenrechnungen von Agroscope (Zorn *et al.* 2015) werden für die vom Auftraggeber ausgewählten Kulturen Winterweizen, Körnermais, Kunstwiese, Kartoffeln, Kirschen sowie Erdbeeren Kosten-/Leistungsrechnungen zusammengestellt, die als Vergleichsbasis dienen. Kartoffeln, Kirschen und Erdbeeren werden gegenwärtig bereits bewässert. Darauf aufbauend werden die Veränderungen der Kosten-/Leistungsrechnung im Falle der (erhöhten) Bewässerung für verschiedene Klimaszenarien kalkuliert, wie in den folgenden Abschnitten aufgezeigt wird.

Die geschätzten Einbussen auf der Leistungsseite für die Klimamodell-Szenarien (Tabelle 2) stützen sich auf die Niederschlagskurven der einzelnen Klimamodelle, auf die Ausführungen im Bericht „Die

Landwirtschaft und der Hitzesommer 2003“ (Keller & Fuhrer 2004) sowie auf Expertenbefragungen und Einschätzungen des Auftraggebers (Gysin 2016a, 2016b). Einbussen werden nur quantitativ (Minderertrag) und nicht qualitativ bewertet. Die Ertragseinbussen der Kulturen rangieren zwischen 10 und 70 %. Mögliche Einsparungen infolge geringerer Erträge (z. B. verringerte Düngung, geringere Transportkosten, reduzierte Erntekosten) werden nicht berücksichtigt.

**Tabelle 2:** Ertragsabweichungen in % vom mittleren Ertrag in der Referenzsituation in verschiedenen Klimaszenarien falls nicht bewässert wird.

Klimamodell	Kultur					
	Winterweizen	Körnermais	Kunstwiese	Kartoffeln	Kirschen	Erdbeeren
Referenz	0%	0%	0%	-10%	-10%	-10%
CC min.	0%	0%	-5%	-15%	-15%	-10%
CC max.	-15%	-40%	-25%	-25%	-30%	-15%
Extrem	-40%	-50%	-40%	-50%	-70%	-40%

Quelle: Gysin (2016a, 2016b).

Bei der Kalkulation der Arbeitsverfahren wurden für die Ackerkulturen Daten des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL 2013), für den Kirschenanbau Angaben der kantonalen Fachstellen Nordwestschweiz (Kantonale Fachstellen für Obstbau et al. 2016) und für Erdbeeren Daten aus dem Kalkulationsprogramm Beerenkost 2015 (Dietiker 2013) für den Maschinen- und Arbeitseinsatz verwendet. Als Lohnansatz werden für die Ackerkulturen Fr. 28.– je Stunde Arbeitszeit angesetzt (Gazzarin 2016). Bei den Sonderkulturen Erdbeeren und Kirschen werden für die Ernte üblicherweise Lohnarbeitskräfte eingesetzt; hier wird jeweils der in der Literatur verwendete gewichtete Lohnansatz verwendet. Dieser beträgt bei Erdbeeren etwa Fr. 21.40 und bei Kirschen etwa Fr. 23.60 je Stunde Arbeitszeit.

Die Kalkulation der Maschinenkosten für die Bewässerungsmassnahmen stützt sich auf den Maschinenkostenbericht (Gazzarin 2016), der im Kapitel „Düngung und Kompostierung“ auch Geräte für die Bewässerung enthält. Nicht im Maschinenkostenbericht enthaltene Daten wurden analog zur Vorgehensweise der Maschinenkostenerhebung auf Basis von Preislisten und der Verfahren gemäss KTBL (KTBL 2013) ermittelt. Die Erstellungskosten einer Mikrosprinkleranlage für die Kirschen-Bewässerung gehen zurück auf Kalkulationsdaten der kantonalen Fachstellen (Kantonale Fachstellen für Obstbau et al. 2016).

Die Maschinenkosten lassen sich in fixe und variable Kosten einteilen. Zu den fixen Kosten der Maschinen zählt die Abschreibung, der Zinsansatz für das gebundene Kapital, Versicherungen/Gebühren und Gebäudekosten (Maschinenunterstand). Die mit dem Umfang der Bewässerung sich verändernden variablen Kosten umfassen Reparaturen, Unterhalt und Betriebsstoffe (z. B. Diesel für Pumpen). Da der Traktoreinsatz zur Bewässerung von deren Intensität abhängt, werden für diese Betrachtung die gesamten bewässerungs-spezifischen Traktorkosten (also sowohl anteilige fixe als auch variable Kosten) als variable Maschinenkosten der Bewässerung betrachtet.

Die Kosten des Bewässerungswassers haben einen variablen und einen fixen Anteil. Die variablen Kosten ergeben sich aus dem Produkt von Wassermenge und Preis. Die Fixkosten unterscheiden sich in Abhängigkeit vom Wasserbezug: bei der Nutzung von Oberflächengewässern wird jährlich eine Bewilligungsgebühr zwischen Fr. 200.– und Fr. 600.– fällig, während für die Nutzung eines privaten Grundwasserbrunnens einmalig eine Konzessionsgebühr in Höhe von Fr. 1'000.– zu entrichten ist. Die von den Kulturen jährlich benötigten Wassermengen in Liter pro m<sup>2</sup> bzw. mm entstammen der Studie von Fuhrer und Smith (2015); für Kirschen, welche aufgrund der Abdeckung der Kultur und aus Qualitätsüberlegungen bereits heute bewässert werden, wurde der Wasserbedarf anhand der gegenwärtigen Praxis und dem Niederschlagsdefizit der verschiedenen Szenarien abgeschätzt, indem in den Frühlings- und Sommermonaten Niederschlagsdefizite (der Szenarien im Vergleich zur Referenz) durch Bewässerung ausgeglichen werden. Die Wassergebühr liegt bei Oberflächengewässern bei Rp. 4 je m<sup>3</sup> (jährlich jedoch mindestens bei Fr. 100.–). Dieser Wasserbezug wird für die Kulturen Winterweizen, Körnermais, Kunstwiese, Kartoffeln und Erdbeeren zugrunde gelegt. Für die Dauerkultur Kirschen wird der Bezug von Grundwasser (Gebühr liegt bei Rp. 5 je m<sup>3</sup>) aus einem Brunnen angenommen. Trinkwasser aus dem öffentlichen Netz wird zur Bewässerung nicht berücksichtigt.

Die standortspezifische Bewässerungsmenge bzw. Beregnungsintensität muss unter Betrachtung der Faktoren Bodenbedeckung, Hangneigung, Ausgangsfeuchte und Bodenart sowie -tiefe bestimmt werden. Die im Talgebiet des Kantons Basel-Landschaft verbreiteten Lössböden und sandigen Lehmböden

begrenzen die Berechnungsmenge. Je besser die Bodenbedeckung, je geringer die Hangneigung und je leichter der Boden, desto intensiver kann beregnet werden (Mastel 2002). Im Folgenden wird von einer Bewässerung in Höhe von 30 mm je Bewässerung ausgegangen<sup>4</sup>.

Bei den Kosten-/Leistungsrechnungen werden folgende Ausprägungen unterschieden:

- **sechs** Kulturen (Winterweizen, Körnermais, Kunstwiese, Kartoffeln, Kirschen, Erdbeeren);
- **drei** Bodentypen (Braunerde, Parabraunerde und Kalkbraunerde)<sup>5</sup>;
- **vier** Varianten für das Klima (inklusive der Referenzsituation);
- **zwei** Ausprägungen bezüglich Bewässerung (mit und ohne).

Als Ergebnis wird der kalkulatorische Gewinn (Fr. je ha), die resultierende Arbeitsverwertung (Fr. je h) sowie die Bewässerungskosten zur Vermeidung von 1 dt Ertragsverlust dargestellt. Anhand dieser Kennwerte kann die Bewässerungswürdigkeit der Verfahren mit/ohne Bewässerung für verschiedene Kombinationen von Klimaszenario und Bodentyp verglichen werden. Zusätzliche Informationen zur Analyse der Wirtschaftlichkeit bietet die Aufgliederung der Bewässerungskosten in variable und fixe Maschinenkosten der Bewässerung, Arbeitskosten sowie Wasserkosten. Der Gleichgewichtspreis bzw. der Gleichgewichtsertrag gibt schliesslich den Preis (Ertrag) an, bei welchem sich aus wirtschaftlicher Betrachtung die Vergleichssituation (ohne Bewässerung) mit der bewässerten Variante gleichauf läge. Die Angabe dieser Kennzahlen erlaubt eine umfassende Bewertung der Bewässerungswürdigkeit.

### c. Annahmen bei der Kalkulation der Bewässerungskosten

Zur Bewässerung von Winterweizen, Körnermais, Kunstwiese, Kartoffeln und Erdbeeren wird Oberflächenwasser genutzt. Im Falle von Kirschen wird wie bereits erwähnt der Bau eines Brunnens zugrunde gelegt, da es sich um eine Dauerkultur mit einer ortsfesten Bewässerung handelt. Zur Bestimmung der Wasserkosten wird für jedes Szenario (Klima, Bodentyp) die gesamtbetrieblich benötigte Wassermenge bestimmt (vgl. die Annahmen zur Flächenaufteilung oben), um die Gesamtwasserkosten je m<sup>3</sup> auszurechnen. Da bei Kunstwiese (60 bzw. 110 cm) und Erdbeeren (30 bzw. 60 cm) zwei Durchwurzelungstiefen mit jeweils unterschiedlichen Wasserbedarfen unterschieden werden, erfolgte für alle Kulturen eine Differenzierung nach unterschiedlich hohen gesamtbetrieblich ausgebrachten Wassermengen; in den Ergebnis-Tabellen wird jeweils der Boden mit den grösseren Durchwurzelungstiefe und der geringeren Bewässerungsmenge angegeben<sup>6</sup>.

#### i. Mobile Beregnungsmaschine

Die Kalkulation der Bewässerungskosten geht im Falle der Kulturen Winterweizen, Körnermais, Kartoffeln, Kunstwiese und Erdbeeren von der Neuanschaffung einer Beregnungsmaschine (Schlauchtromme und Regenwagen), einer Diesel-Pumpe sowie einem PVC-Schlauch auf einem Dreipunkt-Haspel aus. Die Grösse der Beregnungsmaschine orientiert sich an der mittleren Flächenausstattung eines Haupterwerbsbetriebes im Kanton Basel-Landschaft von 29,1 ha LN (BFS 2016); es wird angenommen, dass etwa die Hälfte dessen Betriebsfläche bewässert wird. Diese Fläche wird auf die betrachteten Ackerkulturen umgelegt, so dass für die Kalkulation der insgesamt benötigten Wassermenge (welche für die Bestimmung der Wasserkosten relevant ist) 4 ha Winterweizen, 4 ha Körnermais, 4 ha Kunstwiese sowie 4 ha Kartoffeln, in der Summe also eine bewässerte Ackerfläche von 16 ha angenommen wird. Für die Sonderkultur Erdbeeren wird eine bewässerte Fläche von 6 ha zugrunde gelegt.

Der Kalkulation der Ackerkulturen wird eine Schlaggrösse von zwei Hektaren, bei Erdbeeren ein Hektar zugrunde gelegt. Für diese Situation wird eine Beregnungsmaschine mit 300 m Schlauch, 75 mm Schlauchdurchmesser und 54 m Beregnungsbreite mit 30 m<sup>3</sup> Wasserdurchfluss je Stunde und einer Flächenleistung<sup>7</sup> von 15 ha je Jahr angenommen (KTBL 2013). Die Diesel-Pumpe hat eine Motorleistung von 42 PS (30,9 kW), kann 60 m<sup>3</sup> Wasser pro Stunde fördern und dabei einen Förderdruck von 8,1 bar erzeugen. Der Schlauchwagen ermöglicht den Wasserbezug aus bis zu 600 m Entfernung. Insgesamt belaufen sich die Investitionskosten dieser Maschinen auf über Fr. 57'000.–. Unter den getroffenen Annahmen zum Nutzungspotenzial, einem Zinsansatz von 3 %, einem Ansatz für Versicherungen und Gebühren in Höhe von 0,2 % des Anschaffungspreises belaufen sich die jährlichen Fixkosten auf

<sup>4</sup> Diese Bewässerungsintensität kann auf gewissen Standorten relativ hoch sein. Eine geringere Bewässerungsintensität erforderte häufigere Bewässerungen, was die Bewässerungskosten erhöhen würde.

<sup>5</sup> Bei Kirschen wurde lediglich ein Bodentyp modelliert, da infolge der spezifischen Vorgehensweise bei der Abschätzung deren Bewässerungsbedarfs kein nach Bodentypen differenzierter Wasserbedarf ermittelt wurde.

<sup>6</sup> Im Falle einer geringeren Durchwurzelungstiefe (Kunstwiese: 60 cm, Erdbeeren: 30 cm) ist der Wasserbedarf in der Regel höher und entsprechend sind die Bewässerungskosten leicht höher. Der Einfluss auf die Ergebnisse ist jedoch gering.

<sup>7</sup> Die Flächenleistung gibt die Fläche an, die mit dieser Maschine in einem Jahr bewässert werden kann, wenn bei einer Bewässerung mit 25 mm die Felder nach einer Woche wieder bewässert werden sollen (KTBL 2013).

Fr. 5'548.–<sup>8</sup>. Die variablen Kosten der drei Maschinen zur Bewässerung belaufen sich auf Fr. 16.29 je Einsatzstunde. Der Grossteil der variablen Kosten entfällt auf die Wasserförderung mit Fr. 8.85 je Stunde für die Diesel-Pumpe, für welche ein stündlicher Dieselverbrauch von 5 l angenommen wird.

Der Einsatz einer mobilen Beregnungsanlage umfasst folgende Arbeitsschritte (KTBL 2013):

- 1) Transport der Beregnungsmaschine vom Hof zum Feld
- 2) Verankern der Beregnungsmaschine und Ausziehen des Schlauches
- 3) Fahrt Hof - Feld zum Umsetzen der Beregnungsmaschine
- 4) Lösen der Verankerung, Umsetzen und neues Verankern, Ausziehen des Schlauches
- 5) Lösen der Verankerung und Rücktransport der Beregnungsmaschine zum Hof

Für den Transport der Beregnungsmaschine zum Feld, das Umsetzen der Maschine und den Rücktransport kommt ein Traktor (87 PS bzw. 64 kW) zum Einsatz. Für diese Arbeitsschritte fallen pro Schlag und Bewässerung 1,3 Maschinenstunden und 1,43 Arbeitsstunden an; im Falle der Erdbeerkultur muss die Beregnungsmaschine nicht umgesetzt werden, hier beträgt der Einsatzumfang 0,88 Maschinen- und 0,97 Arbeitsstunden (KTBL 2013). Da der Traktoreinsatz vom Bewässerungsumfang abhängt, werden die gesamten Traktorkosten (à Fr. 34.70 je h) zu den variablen Bewässerungskosten gezählt.

**Tabelle 3: Übersicht der Investitionen in Mobile Regnungsmaschine**

Maschine	Anschaffungspreis (Fr.)	Nutzungspotenzial		Fixe Kosten	Variable Kosten
		Zeit (a)	Leistung	Fr./a	Fr./h
<b>Mobile Beregnungsmaschine</b> <sup>a</sup> , 300 m Schlauch, 75 mm Durchflussbreite, 30 m <sup>3</sup> Volumendurchfluss, 15 ha/a Flächenleistung	26'350	12	10'000 h	2'330	2.64
<b>Diesel-Motor-Zentrifugalpumpe</b> <sup>a</sup> , 42 PS, 60 m <sup>3</sup> /h Förderleistung, 8,1 bar Förderdruck	15'000	15	15'000 h	1'281	8.85
<b>PVC-Schlauche auf Dreipunkthapel</b> <sup>b</sup> , 600 m Schlauch, 75 mm Durchflussbreite	16'000	10 <sup>c</sup>	35'000 m <sup>3</sup>	1'937	4.80 <sup>d</sup>
<b>Summe</b>	<b>57'350</b>			<b>5'548</b>	<b>16.29</b>

Quellen: <sup>a</sup> eigene Preiserhebung und Kalkulation gemäss Annahmen vom KTBL (2013); <sup>b</sup> Maschinenkostenbericht 2016 (Gazzarin 2016); <sup>c</sup> Lebensdauer wurde von 8 auf 10 Jahre erhöht; <sup>d</sup> Eine Stundenleistung von 30 m<sup>3</sup> mit variablen Kosten von Fr. 0.16 je m<sup>3</sup> wurde zugrunde gelegt.

Für eine Bewässerung wird eine Wassermenge von 30 mm angenommen. Die Bewässerungszeit mit einer Beregnungsmaschine mit Rohrdurchmesser 75 mm und einem Volumendurchfluss von 30 m<sup>3</sup>/h beträgt bei einer Beregnungshöhe von 30 mm jeweils 10,0 h je ha (KTBL 2013). Die Anzahl der Bewässerungen resultiert als gerundetes, ganzzahliges Ergebnis aus der Division der auszubringenden Wassermenge (m<sup>3</sup>/ha) durch die in einer Bewässerung ausgebrachte Wassermenge je Bewässerung (300 m<sup>3</sup>).

Zur Charakterisierung der Effizienz der Bewässerung werden verschiedene Begriffe genutzt. Leider werden diese bei der Verwendung nicht immer definiert und uneinheitlich verwendet (Benito et al. 2009; Rogers et al. 1997). Für diese Untersuchung wird angenommen, dass dieser Wert den Anteil des von den Pflanzen genutzten Wassers am insgesamt auf dem Feld ausgebrachten Wasser darstellt (auf Englisch field application efficiency) (Benito et al. 2009; Rogers et al. 1997). Für mobile Beregnungsmaschinen werden Werte für die Wassereffizienz zwischen 0,6 (Lfl 2008) und 0,7 (Fuhrer und Smith 2015) angegeben. Da Fuhrer und Smith (2015) von einer Bewässerungseffizienz von 100 % ausgehen und

<sup>8</sup> Diese Angaben beziehen sich auf eine Nutzungsintensität unterhalb der Auslastungsschwelle (Auslastungsschwelle = Nutzungspotenzial Leistung/Nutzungspotenzial Zeit [h/a]). Auf die Berücksichtigung der variablen Abschreibung oberhalb der Auslastungsschwelle als variable Kostenposition wurde aus Gründen einer einheitlichen Darstellung verzichtet.

System- und Verdunstungsverluste nicht berücksichtigen, werden die im Bericht „Grundlagen für die Abschätzung des Bewässerungsbedarfs im Kanton Basel-Landschaft“ genannten Berechnungsmengen entsprechend mit dem Faktor 0,65 korrigiert (Mittelwert der Angaben in Fuhrer und Smith 2015; LfL 2008), um die auszubringende Wassermenge zu bestimmen (in der Folge erhöht sich die auszubringende Wassermenge um über 50 % –  $1/0,65 = 1,538$ ).

## ii. Mikrosprinkleranlage

Die Mikrosprinkleranlage wird zur Bewässerung von Kirschen eingesetzt (Kantonale Fachstellen für Obstbau *et al.* 2016). Bei Kirschen wird eine bewässerte Gesamtfläche von 6 ha zugrunde gelegt, die sich auf sechs Schläge à 1 Hektar aufteilt. Die Bewässerung der Kirschen erfolgt in der Praxis gegenwärtig im Zeitraum Mitte Mai bis Ende Juli. Im Abstand von zwei bis drei Tagen erhält jeder Kirschbaum 25 l Wasser. Je Hektar werden 850 Bäume angenommen<sup>9</sup>. Für die Erstellungskosten einer Mikrosprinkleranlage werden Fr. 13'570.– angesetzt<sup>10</sup>. Diese Investition umfasst die Anlage, deren Stromversorgung sowie eine Bewässerungssteuerung. Zur Wasserförderung kommt eine Saugpumpe mit Elektromotor zum Einsatz, mit einem Anschaffungspreis von Fr. 3'850.–. Die Kosten des Brunnenbaus werden mit Fr. 30'000.– plus Fr. 1000.– für die Bewilligungsgebühr angesetzt. Diese Kosten werden über 30 Jahre abgeschrieben. In der Summe (Anlage und Brunnen) ergeben sich jährliche Fixkosten in Höhe von Fr. 2'990.–. Diese Fixkosten können auf zwei Schläge à 1 Hektar verteilt werden und betragen je Hektare damit Fr. 1'495.–. Die variablen Kosten der Anlage betragen in der Summe Fr. 4.59 je h bei einer Stundenleistung von 5 m<sup>3</sup>.

**Tabelle 4:** Übersicht der Investition in Mikrosprinkleranlage inkl. Brunnen zur Bewässerung von 2 Hektaren.

Maschine	Anschaffungspreis (Fr.)	Nutzungspotenzial		Fixe Kosten	Variable Kosten
		Zeit (a)	Leistung	Fr./a	Fr./h
<b>Mikrosprinkleranlage</b> <sup>a</sup> , 17 Reihen, 50 mm Rohr, Bewässerungscomputer	13'570	15	k.A.	1'210	3.40
<b>Saugpumpe mit Elektromotor</b> <sup>b</sup> , 6 m <sup>3</sup> /h, 5,5 kW	3'850	15	15 000	360	1.19
<b>Grundwasserbrunnen</b> <sup>c</sup> , Bohrung, Bewilligung	31'000	30	k.A.	1'420	0
<b>Summe</b>	48'420			2'990	4.59

Quellen: <sup>a</sup> Kantonale Fachstellen für Obstbau *et al.* (2016); <sup>b</sup> eigene Preiserhebung und Kalkulation gemäss Annahmen vom KTBL (2013); <sup>c</sup> KTBL (2013); <sup>d</sup> ohne Betriebskosten für Strom.

Die Gebühr für die Entnahme von Grundwasser beträgt Rp. 5 je m<sup>3</sup>. Zur Kontrolle des Bewässerungscomputers und zur Spülung der Anlage werden jährlich 14 Arbeitsstunden angesetzt (Kantonale Fachstellen für Obstbau *et al.* 2016). Die Bewässerungseffizienz eines Mikrosprinklers ist deutlich höher als jene einer mobilen Berechnungsanlage und liegt bei 0,9 (LfL 2008).

## 6. Ergebnisse

Die Ergebnisse sind jeweils im Verhältnis zu einer Referenzsituation („Referenz“) dargestellt. Die Referenzsituation bildet die gegenwärtigen Klima- und Marktbedingungen ab. Diese bilden die Grundlage für die Kosten-Leistungsrechnung der Kulturen in der Referenzsituation. Die Kosten-Leistungsrechnungen sind detailliert im Anhang A1 sowie verkürzt in den Ergebnistabellen dargestellt. Tabelle 5 zeigt dies exemplarisch. Gemäss der Kosten-Leistungs-Rechnung wird bei Winterweizen gegenwärtig ein Ertrag

<sup>9</sup> Bei einem Reihenabstand von 4,50 m entspricht dies einem Pflanzabstand zwischen 2,0 und 2,5 m (Kantonale Fachstellen für Obstbau *et al.* 2016).

<sup>10</sup> Ein leichte Anpassung der Erstellungskosten erfolgte indem für die Kalkulation auch der in diesem Bericht verwendete Kostenansatz von Fr. 28.– je Stunde angenommen wurde.

von 70 dt/ha und ein kalkulatorischer Gewinn von Fr. 620.– je ha erzielt. Bei einem Arbeitseinsatz von 28,7 Stunden (Tabelle 12 im Anhang) entspricht dies einer Arbeitsverwertung von Fr. 49.59 je Stunde<sup>11</sup>.

Von den drei Szenarien sind nur CC max. und Extrem für Winterweizen relevant, da dann Ertragseinbussen drohen. Im Klimaszenario CC max. wird ohne Bewässerung von einem Ertragsverlust in Höhe von 15 % ausgegangen, bezogen auf den Ausgangswert von 70 dt/ha. Ohne Bewässerung wird nun lediglich ein Ertrag von 60 dt/ha erzielt. Die Gesamtleistung verringert sich in der Folge um Fr. 542.– auf Fr. 4'373.– je ha. Unter der Annahme einer identischen Kostenstruktur resultiert dies in einem deutlich niedrigeren kalkulatorischen Gewinn in der Höhe von Fr. 78.– je ha, was einer Arbeitsverwertung von Fr. 30.70 je Stunde entspricht. Die veränderten Klimabedingungen spiegeln sich hier merklich im erzielten Ergebnis (Gewinn bzw. Arbeitsverwertung) wider.

**Tabelle 5:** Darstellung der Wirtschaftlichkeit der Bewässerung von Winterweizen;  
Rot umrandet ist der relative Ertragsverlust und fett hervorgehoben sind wesentliche Positionen.

Bewässerung (ja - nein)	nein	nein	ja
Szenario	Referenz	CC max.	
Boden	alle	alle	1
Schlaggrösse (ha)	2	2	2
Betriebsfläche (ha)	30	30	30
Bewässerter Fläche, gesamtbetrieblich (ha)	0	0	16
Relativer Ertragsrückgang (%)	0%	15%	0%
Bewässerungsmenge, bodenabhängig (mm bzw. l/m <sup>2</sup> )	0	0	35
Bewässerungseffizienz			0.65
<b>auszubringende Wassermenge (m<sup>3</sup>/ha)</b>			<b>538</b>
gesamtbetrieblich ausgebrachte Wassermenge (m <sup>3</sup> )			23'692
Wasserkosten, variable und fixe Kosten (Rappen/m <sup>3</sup> )			4.84
Anzahl Bewässerungen (gemäss auszubringender Wassermenge und 300 m <sup>3</sup> je Bewässerung, gerundet)			2
Bewässerungszeit (h/ha, bei 10h/ha)			20
Arbeitszeit (Akh/ha) für Bewässerung			1.4
fixe Maschinenkosten Bewässerung (ohne Traktor-Fixkosten) (Fr./ha)			352
variable Maschinenkosten Bewässerung (inkl. Vollkosten Traktor) (Fr./ha)			373
Arbeitskosten (Fr./ha)			40
Wassergesamtkosten (Fr./ha)			26
<b>Gesamtkosten Bewässerung je ha (Fr.)</b>			<b>790</b>
<b>Gesamtkosten Bewässerung je m<sup>3</sup> (Fr.)</b>			<b>1.47</b>
Ertrag (dt/ha)	70	60	70
Preis (Fr./dt)	52	52	52
Direktzahlungen (Fr./ha)	1'300	1'300	1'300
<b>Gesamtleistung (Fr./ha)</b>	<b>4'915</b>	<b>4'373</b>	<b>4'915</b>
Direktkosten (inkl. Wasserkosten) (Fr./ha)	1'085	1'085	1'111
Gemeinkosten (inkl. Land) (Fr./ha)	3'210	3'210	3'974
<b>Gesamtkosten (Fr./ha)</b>	<b>4'295</b>	<b>4'295</b>	<b>5'086</b>
<b>Kalkulatorischer Gewinn (Fr./ha)</b>	<b>620</b>	<b>78</b>	<b>-171</b>
<b>Arbeitsverwertung (Fr./Akh)</b>	<b>49.59</b>	<b>30.70</b>	<b>22.33</b>
Bewässerungskosten je dt vermiedener Ertragsausfall (Fr./dt)			75
Gleichgewichtsertrag (dt)			75
Gleichgewichtspreis (Fr./dt)			55
Bewässerungskosten, zu welchen gleiches Ergebnis wie in unbewässertes Situation erreicht wird (Fr./m <sup>3</sup> )			1.01

Der Ertragsverlust kann durch Bewässerung verhindert werden. Dazu muss der Winterweizen im Klimaszenario CC max. auf einer tiefgründigen Braunerde (Boden 1) mit 35 mm (l/m<sup>2</sup>) beregnet werden.

<sup>11</sup> Um die Arbeitsverwertung zu bestimmen wird zum kalkulatorischen Gewinn der kalkulatorische Arbeitsansatz in Höhe von Fr. 28.– je Stunde hinzuaddiert und die Summe durch die insgesamt eingesetzten Arbeitsstunden geteilt; dabei wird nicht zwischen familieneigenen und familienfremden Arbeitskräften differenziert.

Damit diese Wassermenge von den Pflanzen genutzt werden kann, müssen bei einer Bewässerungseffizienz von 0,65 somit 53,8 mm Wasser ausgebracht werden. Dies entspricht 538 m<sup>3</sup> je Hektar. Dazu muss der Schlag zweimal<sup>12</sup> bewässert werden. Die Bewässerungszeit je Hektar beträgt 20 Stunden und bedarf eines Arbeitseinsatzes von 1,4 Stunden je Hektar.

Die Bewässerungskosten sind aufgeteilt in fixe und variable Kosten. Bei einer gesamtbetrieblich bewässerten Fläche von 16 ha verursacht das zugrunde gelegte Bewässerungssystem fixe Kosten in Höhe von Fr. 352.– je ha. Die variablen Maschinenkosten sind mit Fr. 372.– etwas höher. Arbeitskosten (Fr. 40.– je ha) und Wasserkosten (Fr. 26.– je ha) sind im Verhältnis gering. Die Gesamtkosten zur Bewässerung einer Hektare Winterweizen betragen Fr. 790.–. Zur Ausbringung von 1 m<sup>3</sup> Wasser fallen Kosten in Höhe von Fr. 1.47 an. Unter dem Strich resultiert ein kalkulatorischer Verlust in Höhe von Fr. 171.– je ha Winterweizen. Dies entspricht einer Arbeitsverwertung von Fr. 22.33 je Stunde. Der Vergleich mit der Situation ohne Bewässerung (Arbeitsverwertung in Höhe von Fr. 30.70 je Stunde) zeigt einen deutlichen Unterschied. Unter diesen Bedingungen ist eine Bewässerung nicht wirtschaftlich.

Um die Unterschiede zwischen der Variante ohne und jenen mit Bewässerung aufzuzeigen, sind in den letzten Zeilen jeder Ergebnistabelle für jedes Klimaszenario die Bewässerungskosten pro vermiedener Dezitonne Ertragsausfall (Vermeidungskosten), der Gleichgewichtsertrag, der Gleichgewichtspreis sowie die Bewässerungskosten angegeben, zu welchen die Bewässerung zu einem identischen Gewinn wie in der Situation ohne Bewässerung führt. Diese Werte werden anhand des Beispiels Winterweizens im folgenden Abschnitt dargestellt.

Die Bewässerungskosten, die nötig sind, um 1 dt Minderertrag Weizen zu vermeiden betragen Fr. 75.– je dt und sind damit rund 50 % höher als der Weizenpreis (Fr. 52.– je dt). Übersteigen die **Bewässerungskosten je Dezitonne vermiedener Ertragsausfall** den Weizenpreis, ist die Bewässerung nicht wirtschaftlich, liegen diese Kosten unter dem Produktpreis, sollte hingegen bewässert werden. Der **Gleichgewichtsertrag** gibt an, wie hoch der Ertrag sein müsste, um mit Bewässerung und den damit einhergehenden Kosten den Arbeitsverdienst der Situation ohne Bewässerung zu erreichen. Im obigen Beispiel liegt der Gleichgewichtsertrag bei 83 dt/ha und liegt damit deutlich höher als der erreichte Ertrag von 70 dt/ha. Analog zeigt der **Gleichgewichtspreis** an, bei welchem Weizenpreis die Varianten das gleiche Ergebnis erzielen: dies ist bei einem Preis in Höhe von Fr. 61.– je dt der Fall. Möglicherweise könnte mit der Bewässerung eine Qualitätssteigerung des erzeugten Produktes (z. B. der Stärkegehalt von Kartoffeln) einhergehen. Liegt der Gleichgewichtsertrag (-preis) unter dem angenommenen Ertrag (Preis), so zeigt dies die Wirtschaftlichkeit der Bewässerung und deren Grenzen zur Situation ohne Bewässerung an. Die folgenden Tabellen stellen für die untersuchten Kulturen die Gesamtergebnisse dar.

## Winterweizen

Da sich für Winterweizen im Szenario CC min. keine Ertragsabweichungen ergeben (vgl. Tabelle 2), ist dieses Szenario nicht dargestellt. Ertragseinbussen sind bei Winterweizen erst bei einer klimatischen Veränderung wie im Klimaszenario CC max. zu erwarten und zwar in Höhe von 15 % des Ausgangsertrags (Tabelle 6). Bei einem Ertragsverlust in dieser Höhe erzielt eine Hektare Winterweizen dennoch einen kleinen Gewinn in Höhe von Fr. 78.– je ha. Im Vergleich mit der Referenzsituation (Gewinn: Fr. 620.–) ergibt sich jedoch ein deutlich schlechteres Resultat. Um einen Ertragsverlust zu vermeiden, beträgt in diesem Klimaszenario die notwendige Bewässerungsmenge zwischen 35 mm (Boden 1) und 120 mm (Boden 3). Beim Vergleich des kalkulatorischen Gewinns der nicht bewässerten Ausgangssituation mit den drei Szenarien (für die drei Bodentypen) zeigt sich, dass die Bewässerung in keinem Fall wirtschaftlich ist: es ergibt sich jeweils ein kalkulatorischer Verlust (zwischen Fr. 171.– und Fr. 1'051.– je ha) und in der Folge eine geringere Arbeitsverwertung als ohne Bewässerung. Die relativ geringe Differenz (5 dt) zwischen Gleichgewichtsertrag und Referenz-Ertrag bzw. zwischen Gleichgewichtspreis und Preis (Fr. 3.– Preisdifferenz je dt) zeigt auf, unter welchen Bedingungen die Bewässerung zu einem ähnlichen Ergebnis wie die Variante ohne Bewässerung führt. Würden die Bewässerungskosten anstatt Fr. 1.47 lediglich Fr. 1.01 betragen, ergäbe sich auch ein ähnliches wirtschaftliches Ergebnis wie in der Situation ohne Bewässerung.

Mit zunehmender Bewässerungsmenge steigen die Gesamtkosten der Bewässerung von Fr. 790.– je ha (Boden 1) auf Fr. 1'672.– je ha (Boden 3). Den grössten Kostenanteil stellen in allen Szenarien die variablen Maschinenkosten dar (47 bis 67 % der Bewässerungskosten). Die gesamtbetrieblichen Fixkosten der Bewässerung verteilen sich auf eine bewässerte Fläche von 16 Hektaren und betragen Fr. 352.– je ha. Die Fixkostendegression (Maschinenkosten, Wassergebühren) schlägt sich mit zuneh-

<sup>12</sup> Die Anzahl der Bewässerungen resultiert als ganzzahliges Ergebnis aus der Division der auszubringenden Wassermenge (m<sup>3</sup>/ha) durch die in einer Bewässerung ausgebrachte Wassermenge (30 mm bzw. 300 m<sup>3</sup> je ha).

mender Bewässerungsmenge in abnehmenden Kosten je m<sup>3</sup> ausgebrachtes Wasser nieder. Diese sinken von Fr. 1.47 (Boden 1) auf Fr. 0.91 je m<sup>3</sup> Wasser (Boden 3). Die zunehmenden variablen Kosten je ha überwiegen den Effekt der Fixkostendegression jedoch deutlich. Dies schlägt sich in deutlich zunehmenden Bewässerungskosten nieder, um eine dt Ertragsausfall zu vermeiden.

Im Falle des Klimaszenarios Extrem muss erheblich mehr Wasser ausgebracht werden, andernfalls droht hier ein deutlicher Ertragsverlust in Höhe von 40 %. Dies entspricht bei einem Ertrag von 70 dt/ha einem Minderertrag von 28 dt/ha. Die Gesamtleistung reduziert sich um Fr. 1'446.– je ha im Vergleich mit der Referenzsituation. Dies führt ohne Bewässerung zu einem erheblichen kalkulatorischen Verlust (Fr. 826.–) und damit einer negativen Arbeitsverwertung. Die Bewässerungsmengen zur Vermeidung eines Ertragsausfalls liegen im Szenario Extrem zwischen 235 mm (Boden 1) und 320 mm (Boden 3). Die Gesamtkosten der Bewässerung betragen mehrere Tausend Franken. Die Bewässerungskosten liegen zwischen Fr. 0.83 und Fr. 0.78 je m<sup>3</sup> (d. h. die Fixkostendegression wirkt bei diesen Bewässerungsmengen nur noch gering).

Der kalkulatorische Gewinn ist beim Winterweizen im Falle der Bewässerung jeweils negativ und deutlich tiefer als bei der nicht bewässerten Variante. Lediglich im Falle eines tiefgründigen Bodens (Boden 1) und einer mittleren Klimaveränderung könnte unter günstigen Umständen (überdurchschnittliche Preise bzw. Erträge oder günstige Bewässerungskosten) die Bewässerung von Winterweizen zu einem ähnlichen wirtschaftlichen Ergebnis führen wie ohne Bewässerung

**Tabelle 6. Wirtschaftlichkeit der Bewässerung von Winterweizen für zwei Klimaszenarien und drei Bodentypen. Kalkulation beruht auf der Annahme eines 2 ha-Schlags (100 x 200 m), einer mobilen Beregnungsmaschine mit einer Arbeitsbreite von 54 m und einer Bewässerungsmenge von 30 mm je Durchgang. Eigene Kalkulation, Datenquellen (Fuhrer und Smith 2015; Gazzarin 2016; Gysin 2016a; Gysin 2016c; KTBL 2013).**

Bewässerung (ja - nein)	Kultur				Winterweizen				
	nein	ja	ja	ja	nein	ja	ja	ja	
<b>Szenario</b>	<b>Referenz</b>	<b>alle</b>	<b>1</b>	<b>CC max.</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>Extrem</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Boden</b>	<b>alle</b>	<b>alle</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Schlaggrösse (ha)	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Betriebsfläche (ha)	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Bewässerte Fläche, gesamtbetrieblich (ha)	0	0	16	16	16	16	0	16	16
Relativer Ertragsrückgang (%)	0%	15%	0%	0%	0%	0%	40%	0%	0%
Bewässerungsmenge, bodenabhängig (mm bzw. l/m <sup>2</sup> )	0	0	35	80	120	0	235	280	320
Bewässerungseffizienz			0.65	0.65	0.65		0.65	0.65	0.65
<b>auszubringende Wassermenge (m<sup>3</sup>/ha)</b>			<b>538</b>	<b>1'231</b>	<b>1'846</b>		<b>3'615</b>	<b>4'308</b>	<b>4'923</b>
gesamtbetrieblich ausgebrachte Wassermenge (m <sup>3</sup> )			23'692	34'154	42'154		59'385	68'615	76'308
Wasserkosten, variable und fixe Kosten (Rappen/m <sup>3</sup> )			4.84	4.59	4.47		4.34	4.29	4.26
Anzahl Bewässerungen (gemäss auszubringender Wassermenge und 300 m <sup>3</sup> je Bewässerung, gerundet)			2	4	6		12	14	16
Bewässerungszeit (h/ha, bei 10h/ha)			20	40	60		120	140	160
Arbeitszeit (Akt/h) für Bewässerung			1.4	2.9	4.3		8.6	10.0	11.4
fixe Maschinenkosten Bewässerung (ohne Traktor-Fixkosten) (Fr./ha)			352	352	352		352	352	352
variable Maschinenkosten Bewässerung (inkl. Vollkosten Traktor) (Fr./ha)			373	745	1'118		2'235	2'608	2'980
Arbeitskosten (Fr./ha)			40	80	120		240	280	320
Wassergesamtkosten (Fr./ha)			26	56	83		157	185	210
<b>Gesamtkosten Bewässerung je ha (Fr.)</b>			<b>790</b>	<b>1'233</b>	<b>1'672</b>		<b>2'984</b>	<b>3'425</b>	<b>3'862</b>
<b>Gesamtkosten Bewässerung je m<sup>2</sup> (Fr.)</b>			<b>1.47</b>	<b>1.00</b>	<b>0.91</b>		<b>0.83</b>	<b>0.79</b>	<b>0.78</b>
Ertrag (dt/ha)	70	60	70	70	70	42	70	70	70
Preis (Fr./dt)	52	52	52	52	52	52	52	52	52
Direktzahlungen (Fr./ha)	1'300	1'300	1'300	1'300	1'300	1'300	1'300	1'300	1'300
<b>Gesamtleistung (Fr./ha)</b>	<b>4'915</b>	<b>4'373</b>	<b>4'915</b>	<b>4'915</b>	<b>4'915</b>	<b>3'469</b>	<b>4'915</b>	<b>4'915</b>	<b>4'915</b>
Direktkosten (inkl. Wasserkosten) (Fr./ha)	1'085	1'085	1'111	1'141	1'168	1'085	1'242	1'270	1'295
Gemeinkosten (inkl. Land) (Fr./ha)	3'210	3'210	3'974	4'387	4'800	3'210	6'037	6'450	6'862
<b>Gesamtkosten (Fr./ha)</b>	<b>4'295</b>	<b>4'295</b>	<b>5'086</b>	<b>5'528</b>	<b>5'967</b>	<b>4'295</b>	<b>7'279</b>	<b>7'720</b>	<b>8'157</b>
<b>Kalkulatorischer Gewinn (Fr./ha)</b>	<b>620</b>	<b>78</b>	<b>-171</b>	<b>-614</b>	<b>-1'052</b>	<b>-826</b>	<b>-2'364</b>	<b>-2'805</b>	<b>-3'242</b>
<b>Arbeitsverwertung (Fr./Akt)</b>	<b>49.59</b>	<b>30.70</b>	<b>22.33</b>	<b>8.56</b>	<b>-3.90</b>	<b>-0.79</b>	<b>-35.42</b>	<b>-44.46</b>	<b>-52.78</b>
Bewässerungskosten je dt vermiedener Ertragsausfall (Fr./dt)			75	117	159		284	326	368
Gleichgewichtsertrag (dt)			75	83	92		117	126	134
Gleichgewichtspreis (Fr./dt)			55	62	68		87	93	99
Bewässerungskosten, zu welchen gleiches Ergebnis wie in unbewässelter Situation erreicht wird (Fr./m <sup>3</sup> )			1.01	0.44	0.29		0.15	0.13	0.11

## Körnermais

Beim Körnermais (Tabelle 7) drohen bei klimatischen Veränderungen deutlich höhere Ertragsrisiken als beim Winterweizen. Im Szenario CC max. droht ohne Bewässerung bereits ein Ertragsverlust von 40 % bzw. 48 dt/ha und im Szenario Extrem steigt der relative Ertragsverlust auf 50 % (60 dt/ha). Diese Ertragsrückgänge resultieren ohne Bewässerung in beiden betrachteten Klimaszenarien jeweils in einem kalkulatorischen Verlust (in der Referenzsituation wird ein deutlicher Gewinn erreicht). Im Szenario CC max. ist ohne Bewässerung die Arbeitsverwertung mit Fr. 9.31 je h zwar noch positiv, liegt jedoch deutlich unterhalb des Ansatzes von Fr. 28.– je Stunde. Die Bewässerung kann bei den Böden 1 und 2 zu einer Erhöhung der Arbeitsverwertung führen, jedoch tritt in beiden Varianten ein kalkulatorischer Verlust auf. Im Extrem-Szenario resultiert in allen Varianten – mit und ohne Bewässerung – ein kalkulatorischer Verlust. Hier kann auf einem Standort mit Boden 1 durch Bewässerung noch eine deutlich positive Arbeitsverwertung erreicht werden.

Die Gesamtkosten der Bewässerung liegen zwischen Fr. 1'229.– und Fr. 2'546.– je Hektare Körnermais und betragen je m<sup>3</sup> Wasser zwischen Fr. 0.83 und Fr. 1.14. Die variablen Bewässerungskosten bilden den grössten Kostenanteil. In allen Klimaszenarien ergeben sich mit und ohne Bewässerung kalkulatorische Verluste. Die Bewässerung auf den Böden 1 und 2 kann diese Verluste jedoch verringern, während die Bewässerung von Körnermais auf Boden 3 in einem höheren kalkulatorischen Verlust resultiert.

## Kunstwiese

Die Untersuchungen der Wirtschaftlichkeit der Bewässerung der Kunstwiese sind in Tabelle 8 für eine Durchwurzelungstiefe von 110 cm dargestellt. Eine Kunstwiese auf einem tiefgründigen Boden verlangt weniger Bewässerung als auf einem Boden mit geringerer Durchwurzelungstiefe (60 cm). Im Falle einer geringeren Durchwurzelungstiefe sind höhere Bewässerungsmengen notwendig und es ist von entsprechend höheren Bewässerungskosten auszugehen.

Die Kunstwiese weist im Unterschied zu den bisher vorgestellten Kulturen bereits im Szenario CC min. einen Ertragsverlust auf, wenn sie nicht bewässert wird. Jedoch fällt dieser mit 5 % relativ gering aus. Im mittleren Klimaszenario (CC max.) droht ein Ertragsverlust von 25 % und im Extrem-Szenario ein Verlust von 40 % des Ausgangsertrags.

Im Falle des Szenario CC min. ist die Kunstwiese neben der Kartoffel die einzige zu bewässernde Kultur des Modell-Betriebs, so dass die gesamtbetrieblich ausgebrachte Wassermenge relativ gering ist. Da ausserdem die gesamtbetrieblich bewässerte Fläche lediglich 8 ha beträgt, fallen die Fixkosten der Bewässerung nun höher aus.

Der geringe potenzielle Ertragsverlust im Szenario CC min. im Umfang von 12 dt/ha resultiert in einem Leistungsrückgang von etwa Fr. 200.– je ha. Die Bewässerungskosten um diesen Leistungsverlust zu vermeiden, betragen mit Fr. 1'149.– je ha jedoch ein Vielfaches. Alle bewässerten Verfahren in diesem Szenario weisen einen deutlichen kalkulatorischen Verlust auf. Das Verfahren ohne Bewässerung weist mit einem Gewinn von Fr. 572.– je ha dagegen noch ein deutlich positives Ergebnis auf.

Im Szenario CC max. resultiert der Verzicht auf die Bewässerung hingegeben in einem kalkulatorischen Verlust in Höhe von Fr. 176.– je ha. Der kalkulatorische Verlust im Falle der Bewässerung nimmt mit zunehmender Bewässerungsmenge zu und liegt zwischen Fr. 699.– und Fr. 1'793.– je ha.

Das Extrem-Szenario weist schliesslich noch höhere Verluste auf. Während der Arbeitsverdienst im Verfahren ohne Bewässerung noch leicht positiv ist (Fr. 2.25 je h), fällt die Arbeitsentlohnung im Falle der Bewässerung hier auf *minus* Fr. 50.– je Stunde. Die Bewässerungskosten werden hier sehr hoch, was vor allem auf die mit der Ausbringung von mehreren Tausend Kubikmetern Wasser einhergehenden hohen variablen Kosten zurückzuführen ist. Bei Boden 3 übersteigen die Kosten der Bewässerung sogar die Gesamtleistung des Verfahrens.

Die Bewässerung von Kunstweisen ist in keinem der untersuchten Fälle wirtschaftlich. Im Szenario CC min. ist der Ertragsverlust mit 5 % sehr gering. Selbst bei einer besseren Auslastung des Bewässerungssystems (kalkuliert wurde eine gesamtbetriebliche Bewässerungsfläche von 16 ha), weist die unbewässerte Alternative einen um Fr. 600.– höheren Gewinn auf. In den zwei anderen Szenarien verursachen die hohen notwendigen Bewässerungsmengen entsprechend hohe Kosten.

**Tabelle 7: Wirtschaftlichkeit der Bewässerung von Körnermais für zwei Klimaszenarien und drei Bodentypen. Kalkulation beruht auf der Annahme eines 2 ha-Schlags (100 x 200 m), einer mobilen Beregnungsmaschine mit einer Arbeitsbreite von 54 m und einer Bewässerungsmenge von 30 mm je Durchgang. Eigene Kalkulation, Datenquellen (Fuhrer und Smith 2015; Gazzarin 2016; Gysin 2016a; Gysin 2016c; KTBL 2013).**

Bewässerung (ja - nein)	Kultur			Körnermais		
	nein	nein	ja	ja	ja	ja
<b>Szenario</b>	Referenz	alle	1	2	3	Extrem
<b>Boden</b>		alle	1	2	3	1
Schlaggrösse (ha)	2	2	2	2	2	2
Betriebsfläche (ha)	30	30	30	30	30	30
Bewässerte Fläche, gesamtbetrieblich (ha)	0	0	16	16	16	16
Relativer Ertragsrückgang (%)	0%	40%	0%	0%	0%	0%
Bewässerungsmenge, bodenabhängig (mm bzw. l/m <sup>2</sup> )	0	0	70	120	160	120
Bewässerungseffizienz			0.65	0.65	0.65	0.65
<b>auszubringende Wassermenge (m<sup>3</sup>/ha)</b>			<b>1'077</b>	<b>1'846</b>	<b>2'462</b>	<b>1'846</b>
gesamtbetrieblich ausgebrachte Wassermenge (m <sup>3</sup> )			23'692	34'154	42'154	59'385
Wasserkosten, variable und fixe Kosten (Rappen/m <sup>3</sup> )			4.84	4.59	4.47	4.34
Anzahl Bewässerungen (gemäss auszubringender Wassermenge und 300 m <sup>3</sup> je Bewässerung, gerundet)			4	6	8	6
Bewässerungszeit (h/ha, bei 10h/ha)			40	60	80	60
Arbeitszeit (Akh/ha) für Bewässerung			2.9	4.3	5.7	4.3
fixe Maschinenkosten Bewässerung (ohne Traktor-Fixkosten) (Fr./ha)			352	352	352	352
variable Maschinenkosten Bewässerung (inkl. Vollkosten Traktor) (Fr./ha)			745	1'118	1'490	1'118
Arbeitskosten (Fr./ha)			80	120	160	120
Wassergesamtkosten (Fr./ha)			52	85	110	80
<b>Gesamtkosten Bewässerung je ha (Fr.)</b>			<b>1'229</b>	<b>1'674</b>	<b>2'112</b>	<b>1'670</b>
<b>Gesamtkosten Bewässerung je m<sup>3</sup> (Fr.)</b>			<b>1.14</b>	<b>0.91</b>	<b>0.86</b>	<b>0.90</b>
Ertrag (dt/ha)	120	72	120	120	120	120
Preis (Fr./dt)	36	36	36	36	36	36
Direktzahlungen (Fr./ha)	1'300	1'300	1'300	1'300	1'300	1'300
<b>Gesamtleistung (Fr./ha)</b>	<b>5'573</b>	<b>3'864</b>	<b>5'573</b>	<b>5'573</b>	<b>5'573</b>	<b>5'573</b>
Direktkosten (inkl. Wasserkosten) (Fr./ha)	1'478	1'478	1'530	1'563	1'588	1'478
Gemeinkosten (inkl. Land) (Fr./ha)	2'876	2'876	4'053	4'466	4'878	4'878
<b>Gesamtkosten (Fr./ha)</b>	<b>4'354</b>	<b>4'354</b>	<b>5'583</b>	<b>6'028</b>	<b>6'466</b>	<b>6'024</b>
<b>Kalkulatorischer Gewinn (Fr./ha)</b>	<b>1'219</b>	<b>-490</b>	<b>-10</b>	<b>-455</b>	<b>-893</b>	<b>-917</b>
<b>Arbeitsverwertung (Fr./Akh)</b>	<b>74.49</b>	<b>9.31</b>	<b>27.66</b>	<b>13.09</b>	<b>0.04</b>	<b>13.24</b>
Bewässerungskosten je dt			26	35	44	28
vermiedener Ertragsausfall (Fr./dt)			107	119	131	107
Gleichgewichtsertrag (dt)			32	35	39	32
Bewässerungskosten, zu welchem gleiches Ergebnis wie in unbewässelter Situation erreicht wird (Fr./m <sup>3</sup> )			1.59	0.93	0.69	1.16
						0.87
<b>Kalkulatorischer Gewinn (Fr./ha)</b>			<b>-888</b>	<b>-450</b>	<b>-888</b>	<b>-1'327</b>
<b>Arbeitsverwertung (Fr./Akh)</b>			<b>0.19</b>	<b>0.19</b>	<b>0.19</b>	<b>-11.75</b>

**Tabelle 8:** Wirtschaftlichkeit der Bewässerung von **Kunstwiesen** für drei Klimaszenarien, drei Bodentypen und eine Durchwurzelungstiefe von 110 cm. Kalkulation beruht auf der Annahme eines 2 ha-Schlags (100 x 200 m), einer mobilen Beregnungsmaschine mit einer Arbeitsbreite von 54 m und einer Bewässerungsmenge von 30 mm je Durchgang. Eigene Kalkulation, Datenquellen (Fuhrer und Smith 2015; Gazzarin 2016; Gysin 2016a; Gysin 2016c; KTBL 2013).

Bewässerung (ja - nein)	Kultur						Kunstwiese (gemäht, Durchwurzelungstiefe 110 cm)					
	ja	nein	ja	nein	ja	nein	ja	nein	ja	nein	ja	nein
	CC min.	alle	CC min.	alle	CC max.	alle	CC max.	alle	Extrem	alle	Extrem	alle
<b>Szenario</b>	ja	nein	ja	nein	ja	nein	ja	nein	ja	nein	ja	nein
<b>Boden</b>	1	alle	2	3	1	alle	2	3	1	alle	2	3
Schlaggrösse (ha)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Betriebsfläche (ha)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Bewässerte Fläche, gesambetrieblich (ha)	0	0	8	8	0	0	16	16	0	0	16	16
Relativer Ertragsrückgang (%)	0%	5%	0%	0%	0%	25%	0%	0%	0%	40%	0%	0%
Bewässerungsmenge, bodenabhängig (mm bzw. l/m <sup>2</sup> )	0	0	35	75	130	0	100	150	200	0	315	360
Bewässerungseffizienz	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
<b>auszubringende Wassermenge (m<sup>3</sup>/ha)</b>	<b>538</b>	<b>1'154</b>	<b>2'000</b>				<b>1'538</b>	<b>2'308</b>	<b>3'077</b>		<b>4'846</b>	<b>5'538</b>
gesambetrieblich ausgebrachte Wassermenge (m <sup>3</sup> )	9846	14'154	17'538				23'692	34'154	42'154		59'385	68'615
Wasserkosten, variable und fixe Kosten (Rappen/m <sup>3</sup> )	6.03	5.41	5.14				4.84	4.59	4.47		4.34	4.29
Anzahl Bewässerungen (gemäss auszubringender Wassermenge und 300 m <sup>3</sup> je Bewässerung, gerundet)	2	4	7				5	8	10		16	18
Bewässerungszeit (h/ha, bei 10h/ha)	20	40	70				50	80	100		160	180
Arbeitszeit (Akh/ha) für Bewässerung	1.4	2.9	5.0				3.6	5.7	7.2		11.4	12.9
fixe Maschinenkosten Bewässerung (ohne Traktor-Fixkosten) (Fr./ha)	704	704	704				352	352	352		352	352
variable Maschinenkosten Bewässerung (inkl. Vollkosten Traktor) (Fr./ha)	373	745	1'304				931	1'490	1'863		2'980	3'353
Arbeitskosten (Fr./ha)	40	80	140				100	160	200		320	360
Wassergesamtkosten (Fr./ha)	32	62	103				75	106	138		210	238
<b>Gesamtkosten Bewässerung je ha (Fr.)</b>	<b>1'149</b>	<b>1'591</b>	<b>2'250</b>				<b>1'458</b>	<b>2'108</b>	<b>2'552</b>		<b>3'862</b>	<b>4'949</b>
<b>Gesamtkosten Bewässerung je m<sup>2</sup> (Fr.)</b>	<b>2.13</b>	<b>1.38</b>	<b>1.13</b>				<b>0.95</b>	<b>0.91</b>	<b>0.83</b>		<b>0.80</b>	<b>0.79</b>
Ertrag (Frischsubstanz dt/ha)	252	240	252				189	252	252		252	252
Preis (Fr./dt)	15	15	15				15	15	15		15	15
Direktzahlungen (Fr./ha)	900	900	900				900	900	900		900	900
<b>Gesamtleistung (Fr./ha)</b>	<b>4'641</b>	<b>4'454</b>	<b>4'641</b>				<b>3'706</b>	<b>4'641</b>	<b>4'641</b>		<b>4'641</b>	<b>4'641</b>
Direktkosten (inkl. Wasserkosten) (Fr./ha)	469	469	501				469	544	607		469	707
Gemeinkosten (inkl. Land) (Fr./ha)	3'413	3'413	4'152				3'413	4'796	5'828		3'413	7'065
<b>Gesamtkosten (Fr./ha)</b>	<b>3'882</b>	<b>3'882</b>	<b>5'031</b>				<b>3'882</b>	<b>5'340</b>	<b>6'434</b>		<b>7'744</b>	<b>8'831</b>
<b>Kalkulatorischer Gewinn (Fr./ha)</b>	<b>759</b>	<b>572</b>	<b>-390</b>				<b>-176</b>	<b>-699</b>	<b>-1'793</b>		<b>-3'103</b>	<b>-4'190</b>
<b>Arbeitsverwertung (Fr./Akh)</b>	<b>54.50</b>	<b>47.97</b>	<b>15.04</b>				<b>21.84</b>	<b>-11.26</b>	<b>-22.11</b>		<b>2.25</b>	<b>-57.37</b>
Bewässerungskosten je dt			91					23	33		38	43
vermiedener Ertragsausfall (Fr./dt)			317					288	331		412	442
Gleichgewichtsbeitrag (dt)			19					15	15		24	26
Gleichgewichtspreis (Fr./dt)			0.35					0.61	0.41		0.31	0.27
Bewässerungskosten, zu welchen gleiches Ergebnis wie in unbewässelter Situation erreicht wird (Fr./m <sup>3</sup> )			0.16					0.41	0.30		0.31	0.27

## Kartoffeln

Die Kartoffel ist die einzige der betrachteten Ackerkulturen, welche bereits in der Referenzsituation bewässert wird (Tabelle 9). Die Bewässerung von Kartoffeln zielt auch auf die Sicherung der Qualität ab. In dieser Untersuchung wird jedoch lediglich der Ertragseffekt betrachtet. In der Referenz wird für Kartoffeln ohne Bewässerung ein Ertragsverlust von 10 % (dies entspricht 40 dt) angenommen. Die Bewässerung erfordert bereits in der Referenz grosse Wassermengen von mindestens rund 1'700 m<sup>3</sup>/ha. Der hohe Wasserbedarf sowie der Effekt, dass gemäss Annahmen die Fixkosten des Bewässerungssystems alleine durch die insgesamt 4 ha Kartoffeln getragen werden müssen, resultiert in hohen Bewässerungskosten. Unter den getroffenen Annahmen ist die Bewässerung von Kartoffeln in der Referenzsituation nicht wirtschaftlich. Alle bewässerten Varianten weisen einen kalkulatorischen Verlust von über Fr. 1'000.– je ha auf, während die nicht bewässerte Variante einen – wenn auch geringen – Gewinn erzielt. Die geringe Differenz zwischen Gleichgewichtspreis (Fr. 39.– je dt) und dem zugrunde gelegten Preis (Fr. 36.– je dt) von unter 10 % verdeutlicht die Bedeutung des Qualitätsaspektes, welcher hier nicht betrachtet wird. Führt die Bewässerung zu einem 10%-Qualitätszuschlag zum erzielten Preis, zöge die Bewässerung mit der nicht bewässerten Situation gleich.

Im Szenario CC min. droht ein Ertragsverlust von 15 %. Der kalkulatorische Gewinn der nicht bewässerten Variante wird nun negativ. Der Wasserbedarf steigt im Vergleich mit der Referenz moderat (zwischen 7 und 14 %). Zwar weisen im Szenario CC min. alle untersuchten Varianten einen kalkulatorischen Verlust auf, jedoch beträgt dieser jeweils weniger als Fr. 1'000.– je ha. Aufgrund des grossen Arbeitseinsatzes wird in allen Verfahren noch eine Arbeitsverwertung von über Fr. 20.– je h erreicht. Da in diesem Szenario nun neben den Kartoffeln auch die Kunstwiesen und gesamtbetrieblich eine Fläche von 8 Hektaren bewässert werden, halbieren sich die Fixkosten je ha. Unter diesen Umständen (CC min.) ist die Bewässerung auf Boden 1 der nicht bewässerten Variante etwas überlegen. Auf den anderen Böden ist die Bewässerung jedoch unterlegen.

Wird im Szenario CC max. nicht bewässert, fällt ein Viertel des Ertrags weg. Die Bewässerungsmengen nehmen deutlich zu. In diesem Szenario steigt die gesamtbetrieblich bewässerte Fläche auf ihr Maximum von 16 ha, was zu Fixkosten im Vergleich zu CC min. nochmals halbiert. Alle untersuchten Varianten im Szenario CC max. weisen einen kalkulatorischen Verlust auf. Werden die Kartoffeln bewässert, ist dieser jedoch mit rund Fr. 800.– bis Fr. 1'200.– je ha jeweils deutlich geringer als in der nicht bewässerten Variante mit Fr. 2'000.– je ha.

Ein ähnliches Resultat ergibt sich im Extrem-Szenario (50 % Ertragsverlust ohne Bewässerung): die bewässerten Kartoffeln erzielen auf allen betrachteten Bodentypen eine höhere Arbeitsverwertung als die nicht bewässerte Variante. Jedoch beläuft sich der kalkulatorische Verlust im Falle der Bewässerung auf jeweils mehr als Fr. 2'000.– je ha und die Arbeitsverwertung liegt zwischen Fr. 13.17 und Fr. 14.50 je Stunde.

Unter den getroffenen Annahmen und der angewandten Bewässerungstechnik spiegeln die Resultate die Bewässerungswürdigkeit von Kartoffeln in der Referenz nur eingeschränkt wider. Im Szenario CC max. sowie im Extremszenario wird jedoch deutlich wie wichtig die Bewässerung von Kartoffeln im Falle von klimatischen Veränderungen ist. Die Beachtung qualitativer Aspekte bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung würde die Situation wohl zugunsten der Bewässerung verbessern. Ausserdem kann durch eine günstigere Bewässerung (z. B. durch eine bessere Auslastung der Bewässerungstechnik, niedrigere Wasserkosten oder ein alternatives Bewässerungsverfahren) die Wirtschaftlichkeit verbessert werden. So kommt bei Kartoffeln in der Praxis häufig die Tropfbewässerung zum Einsatz, welche günstiger sein kann, als das hier betrachtete Verfahren (mobile Beregnungsmaschine).

## Erdbeeren

Erdbeeren sind eine Sonderkultur, die gegenwärtig bereits bewässert wird. Für diese Sonderkultur wird angenommen, dass die gesamte Erdbeerfläche von 6 Hektaren bewässert wird. Der Wasserbedarf zwischen den Bodentypen 2 und 3 unterscheidet sich nicht, daher sind diese zwei Böden gemeinsam dargestellt. Die Fixkosten des Bewässerungssystems je Hektar sind entsprechend der geringen Einsatzfläche relativ hoch. Die Bewässerungswürdigkeit von Erdbeeren deutet sich trotz dieser Ausgangslage in den Ergebnissen (Tabelle 10) an. In allen betrachteten Varianten übersteigen die Kosten der Bewässerung (rund Fr. 2'000.– bis Fr. 4'000.– je ha) die vermiedenen Ertragseinbussen (von Fr. 8'000.– bis zu Fr. 57'000.– je ha) deutlich. Mit zunehmender Klimaänderung nehmen die notwendigen Bewässerungsmengen und entsprechend die Kosten der Bewässerung zu. Die Ertrags- und Leistungseinbussen ohne Bewässerung sind grundsätzlich jedoch sehr hoch und steigen überproportional mit klimatischen Veränderungen. Auffallend ist allerdings, dass keines der Verfahren unter den getroffenen Annahmen einen Gewinn erzielen kann. Dies entspricht jedoch den Daten in Beerenkost 2015 (Dietiker 2013).

**Tabelle 9: Wirtschaftlichkeit der Bewässerung von Kartoffeln für drei Klimaszenarien und drei Bodentypen und unterschiedliche gesamtbetriebliche Bewässerungsflächen und Wasserbedarfe. Kalkulation beruht auf der Annahme eines 2 ha-Schlags (100 x 200 m), einer mobilen Beregnungsmaschine mit einer Arbeitsbreite von 54 m und einer effektiven Bewässerungsmenge von 30 mm je Durchgang. Eigene Kalkulation, Datenquellen (Fuhrer und Smith 2015; Gazzarin 2016; Gysin 2016a; Gysin 2016c; KTBL 2013).**

Bewässerung (ja - nein) Szenario	Kultur						Kartoffel						
	ja		ja		ja		ja		ja		ja		
	nein	Referenz	ja	ja	ja	ja	nein	CC min.	ja	ja	ja	ja	
<b>Boden</b>	alle	1	2	3	alle	1	2	3	alle	1	2	3	Extrem
Schlaggrösse (ha)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Betriebsfläche (ha)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Bewässerte Fläche, gesamtbetrieblich (ha)	0	4	4	4	0	8	8	8	0	16	16	16	16
Relativer Ertragsrückgang (%)	10%	0%	0%	0%	15%	0%	0%	0%	25%	0%	0%	0%	0%
Bewässerungsmenge, bodenabhängig (mm bzw. l/m <sup>2</sup> )	0	110	145	145	0	125	155	155	0	180	205	205	0
Bewässerungseffizienz		0.65	0.65	0.65		0.65	0.65	0.65		0.65	0.65	0.65	0.65
<b>auszubringende Wassermenge (m<sup>3</sup>/ha)</b>		<b>1'692</b>	<b>2'231</b>	<b>2'231</b>		<b>1'923</b>	<b>2'385</b>	<b>2'385</b>		<b>2'769</b>	<b>3'154</b>	<b>3'154</b>	<b>4'846</b>
gesamtbetrieblich ausgebrachte Wassermenge (m <sup>3</sup> )		6'769	8'923	8'923		9'846	14'154	17'538		23'692	34'154	42'154	59'385
Wasserkosten, variable und fixe Kosten (Rappen/m <sup>3</sup> )		6.95	6.24	6.24		6.03	5.41	5.14		4.84	4.59	4.47	4.34
Anzahl Bewässerungen (gemäss auszubringender Wassermenge und 300 m <sup>3</sup> je Bewässerung, gerundet)		6	7	7		6	8	8		9	11	11	15
Bewässerungszeit (h/ha, bei 10h/ha)		60	70	70		60	80	80		90	110	110	150
Arbeitszeit (Akh/ha) für Bewässerung		4.3	5.0	5.0		4.3	5.7	5.7		6.4	7.9	7.9	10.7
fixe Maschinenkosten Bewässerung (ohne Traktor-Fixkosten) (Fr./ha)		1'407	1'407	1'407		704	704	704		352	352	352	352
variable Maschinenkosten Bewässerung (inkl. Vollkosten Traktor) (Fr./ha)		1'118	1'304	1'304		1'118	1'490	1'490		1'676	2'049	2'049	2'794
Arbeitskosten (Fr./ha)		120	140	140		120	160	160		180	220	220	300
Wassergesamtkosten (Fr./ha)		118	139	139		116	129	123		134	145	141	197
<b>Gesamtkosten Bewässerung je ha (Fr.)</b>		<b>2'763</b>	<b>2'991</b>	<b>2'991</b>		<b>2'057</b>	<b>2'483</b>	<b>2'476</b>		<b>2'342</b>	<b>2'765</b>	<b>2'762</b>	<b>3'643</b>
<b>Gesamtkosten Bewässerung je m<sup>2</sup> (Fr.)</b>		<b>1.63</b>	<b>1.34</b>	<b>1.34</b>		<b>1.07</b>	<b>1.04</b>	<b>1.04</b>		<b>0.85</b>	<b>0.88</b>	<b>0.88</b>	<b>0.80</b>
Ertrag (dt/ha)	360	400	400	400	340	400	400	400	300	400	400	400	400
Preis (Fr./dt)	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Direktzahlungen (Fr./ha)	1'300	1'300	1'300	1'300	1'300	1'300	1'300	1'300	1'300	1'300	1'300	1'300	1'300
<b>Gesamtleistung (Fr./ha)</b>	<b>14'134</b>	<b>15'560</b>	<b>15'560</b>	<b>15'560</b>	<b>13'421</b>	<b>15'560</b>	<b>15'560</b>	<b>15'560</b>	<b>11'995</b>	<b>15'560</b>	<b>15'560</b>	<b>15'560</b>	<b>15'560</b>
Direktkosten (inkl. Wasserkosten) (Fr./ha)	5'449	5'567	5'688	5'688	5'449	5'565	5'578	5'572	5'449	5'583	5'594	5'590	5'646
Gemeinkosten (inkl. Land) (Fr./ha)	8'571	11'216	11'423	11'423	8'571	10'513	10'925	10'925	8'571	10'779	11'192	11'192	12'017
<b>Gesamtkosten (Fr./ha)</b>	<b>14'020</b>	<b>16'783</b>	<b>17'011</b>	<b>17'011</b>	<b>14'020</b>	<b>16'078</b>	<b>16'503</b>	<b>16'497</b>	<b>14'020</b>	<b>16'363</b>	<b>16'786</b>	<b>16'782</b>	<b>17'663</b>
<b>Kalkulatorischer Gewinn (Fr./ha)</b>	<b>114</b>	<b>-1'223</b>	<b>-1'451</b>	<b>-1'451</b>	<b>-599</b>	<b>-518</b>	<b>-943</b>	<b>-937</b>	<b>-2'025</b>	<b>-803</b>	<b>-1'226</b>	<b>-1'222</b>	<b>-2'103</b>
<b>Arbeitsverwertung (Fr./Akh)</b>	<b>28.78</b>	<b>19.81</b>	<b>18.33</b>	<b>18.33</b>	<b>23.87</b>	<b>24.53</b>	<b>21.74</b>	<b>21.79</b>	<b>14.04</b>	<b>22.70</b>	<b>19.99</b>	<b>20.01</b>	<b>14.50</b>
Bewässerungskosten je dt vermiedener Ertragsausfall (Fr./dt)		69	75	75		34	41	41		23	28	28	18
Gleichgewichtsertrag (dt)		437	444	444		398	410	409		366	378	377	302
Gleichgewichtspreis (Fr./dt)		39	40	40		35	37	36		33	34	34	27
Bewässerungskosten, zu welchem gleiches Ergebnis wie in unbewässelter Situation erreicht wird (Fr./m <sup>3</sup> )		0.84	1.24	1.24		1.11	0.90	0.90		1.29	1.13	1.13	1.57

**Tabelle 10: Wirtschaftlichkeit der Bewässerung von Erdbeeren für drei Klimaszenarien, drei Bodentypen und einer Durchwurzelungstiefe von 60 cm. Kalkulation beruht auf der Annahme eines 1 ha-Schlags (50 x 200 m), einer mobilen Beregnungsmaschine mit einer Arbeitsbreite von 54 m und einer Bewässerungsmenge von 30 mm je Durchgang. Eigene Kalkulation, Datenquellen (Dietiker 2013; Fuhrer und Smith 2015; Gazzarin 2016; Gysin 2016a; Gysin 2016b; KTBL 2013).**

Bewässerung (ja - nein)	Kultur						Erdbeere (Durchwurzelungstiefe 60 cm)							
	nein	ja	ja	ja	nein	ja	nein	ja	ja	nein	ja	ja	ja	
	alle	1	2/3	Referenz	alle	1	2/3	CC min.	1	2/3	CC max.	1	Extrem	
<b>Szenario</b>														
<b>Boden</b>	alle	1	2/3	Referenz	alle	1	2/3	CC min.	1	2/3	CC max.	1	Extrem	
Schlaggrösse (ha)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Betriebsfläche (ha)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
Bewässerte Fläche, gesamtbetrieblich (ha)	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
Relativer Ertragsrückgang (%)	10%	0%	0%	0%	15%	0%	0%	0%	30%	0%	0%	70%	0%	
Bewässerungsmenge, bodenabhängig (mm bzw. l/m²)	0	65	90	65	0	75	100	0	95	125	0	240	250	
Bewässerungseffizienz		0.65	0.65	0.65		0.65	0.65		0.65	0.65		0.65	0.65	
<b>auszubringende Wassermenge (m³/ha)</b>		<b>1'000</b>	<b>1'385</b>	<b>1'000</b>		<b>1'154</b>	<b>1'538</b>		<b>1'462</b>	<b>1'923</b>		<b>3'692</b>	<b>3'846</b>	
gesamtbetrieblich ausgebrachte Wassermenge (m³)		6'000	8'308	6'000		6'923	9'231		8'769	11'538		22'154	23'077	
Wasserkosten, variable und fixe Kosten (Rappen/m³)		7.3	6.4	7.3		6.9	6.2		6.3	5.7		4.9	4.9	
Anzahl Bewässerungen (gemäss auszubringender Wassermenge und 300 m³ je Bewässerung, gerundet)		3	5	3		4	5		5	6		12	13	
Bewässerungszeit (h/ha, bei 10h/ha)		30	50	30		40	50		50	60		120	130	
Arbeitszeit (Akh/ha) für Bewässerung		2.9	4.8	2.9		3.9	4.8		4.8	5.8		11.6	12.6	
fixe Maschinenkosten Bewässerung (ohne Traktor-Fixkosten) (Fr./ha)		938	938	938		938	938		938	938		938	938	
variable Maschinenkosten Bewässerung (inkl. Vollkosten Traktor) (Fr./ha)		584	973	584		778	973		973	1'167		2'334	2'529	
Arbeitskosten (Fr./ha)		81	136	81		108	136		136	163		325	352	
Wassergesamtkosten (Fr./ha)		73	89	73		79	95		92	110		181	187	
<b>Gesamtkosten Bewässerung je ha (Fr.)</b>		<b>1'677</b>	<b>2'135</b>	<b>1'677</b>		<b>1'904</b>	<b>2'141</b>		<b>2'138</b>	<b>2'378</b>		<b>3'779</b>	<b>4'007</b>	
<b>Gesamtkosten Bewässerung je m² (Fr.)</b>		<b>1.68</b>	<b>1.54</b>	<b>1.68</b>		<b>1.65</b>	<b>1.39</b>		<b>1.46</b>	<b>1.24</b>		<b>1.02</b>	<b>1.04</b>	
Ertrag (dt/ha)	135	150	150	150	128	150	150	105	150	150	45	150	150	
Preis (Fr./dt)	540	540	540	540	540	540	540	540	540	540	540	540	540	
Direktzahlungen (Fr./ha)	1'300	1'300	1'300	1'300	1'300	1'300	1'300	1'300	1'300	1'300	1'300	1'300	1'300	
<b>Gesamtleistung (Fr./ha)</b>	<b>74'200</b>	<b>82'300</b>	<b>82'300</b>	<b>82'300</b>	<b>70'150</b>	<b>82'300</b>	<b>82'300</b>	<b>58'000</b>	<b>82'300</b>	<b>82'300</b>	<b>25'600</b>	<b>82'300</b>	<b>82'300</b>	
Direktkosten (inkl. Wasserkosten) (Fr./ha)	32'796	32'869	32'885	32'876	32'796	32'891	32'891	32'796	32'888	32'906	32'796	32'977	32'983	
Gemeinkosten (inkl. Land) (Fr./ha)	50'132	51'735	52'178	51'957	50'132	52'178	52'178	50'132	52'178	52'400	50'132	53'730	53'952	
<b>Gesamtkosten (Fr./ha)</b>	<b>82'928</b>	<b>84'605</b>	<b>85'063</b>	<b>84'832</b>	<b>82'928</b>	<b>85'069</b>	<b>85'069</b>	<b>82'928</b>	<b>85'066</b>	<b>85'306</b>	<b>82'928</b>	<b>86'707</b>	<b>86'935</b>	
<b>Kalkulatorischer Gewinn (Fr./ha)</b>	<b>-8'728</b>	<b>-2'305</b>	<b>-2'763</b>	<b>-2'532</b>	<b>-12'778</b>	<b>-2'532</b>	<b>-2'769</b>	<b>-24'928</b>	<b>-2'766</b>	<b>-3'006</b>	<b>-7'444</b>	<b>-4'407</b>	<b>-4'635</b>	
<b>Arbeitsverwertung (Fr./Akh)</b>	<b>17.01</b>	<b>20.26</b>	<b>20.03</b>	<b>20.15</b>	<b>14.97</b>	<b>20.15</b>	<b>20.03</b>	<b>8.86</b>	<b>20.03</b>	<b>19.92</b>	<b>-7.44</b>	<b>19.24</b>	<b>19.13</b>	
Bewässerungskosten je dt		112	142	85		85	95		48	53		36	38	
vermiedener Ertragsausfall (Fr./dt)		138	139	131		131	131		109	109		112	112	
Gleichgewichtsertrag (dt)		497	500	472		472	473		392	394		403	405	
Bewässerungskosten, zu welchen gleiches Ergebnis wie in unbewässelter Situation erreicht wird (Fr./m³)		8.10	5.85	10.53		10.53	7.90		16.63	12.64		15.36	14.74	

## Kirschen

Auch Kirschen sind eine Sonderkultur. Tafelkirschen werden zum Schutz und damit zur Sicherung ihrer Qualität gegenwärtig meist abgedeckt und bewässert. Da die Angaben von Fuhrer und Smith (2015) von den im Untersuchungsgebiet gebräuchlichen Bewässerungsmengen abweichen, wurde hier eine andere Vorgehensweise gewählt (vgl. Kapitel 5a). Daher kann die Bewässerungsintensität nicht nach unterschiedlichen Bodentypen differenziert werden. Für Kirschen wird angenommen, dass die gesamte Fläche im Umfang von sechs Hektaren mit Mikrosprinklern bewässert wird, wobei jeweils zwei Hektaren Kirschen von einem Grundwasserbrunnen gespeist werden. Die im Vergleich zu einer mobilen Beregnungsmaschine höheren Anlagenkosten und die Annahme von Brunnen resultieren in relativ hohen Fixkosten von Fr. 2'102.– je ha.

Kirschen weisen in der Ausgangssituation bei Leistungen von knapp Fr. 59'000.– und Kosten von etwas über Fr. 61'000.– je ha einen kalkulatorischen Verlust in Höhe von Fr. 2'661.– je ha auf. Bereits gegenwärtig (Referenz) tritt ohne Bewässerung ein Ertragsverlust in Höhe von 10 % auf. Die Bewässerung in der Referenzsituation resultiert entsprechend in einer Mehrleistung von rund Fr. 6'000.– je ha, welche die Bewässerungskosten in Höhe von Fr. 3'301.– je ha deutlich übersteigt. Die Bewässerung von Kirschen in der Referenzsituation resultiert in einem geringen kalkulatorischen Gewinn (Fr. 440.– je ha).

Mit abnehmenden Niederschlägen erhöht sich der Bewässerungsbedarf. Die Kosten nehmen in der Folge moderat zu. Im Szenario Extrem mit der höchsten Bewässerungsmenge führt dies zu einem geringen kalkulatorischen Verlust. Würde in dieser Klimasituation jedoch nicht bewässert, würde infolge eines Ertragsverlustes von 70 % ein kalkulatorischer Verlust von über Fr. 40'000.– resultieren.

Kirschen sind eine bewässerungswürdige Kultur. Ähnlich wie bei Erdbeeren ergeben sich deutliche Unterschiede zwischen nicht bewässerter und bewässerter Variante. Die zugrunde gelegte Wasserversorgung und der Mikrosprinkler resultieren in einem hohen Fixkostenanteil und einem – im Vergleich mit dem anderen Bewässerungssystem – moderaten Anstieg der Gesamtbewässerungskosten.

**Tabelle 11:** Wirtschaftlichkeit der Bewässerung von **Kirschen** für drei Klimaszenarien und einen Bodentyp. Kalkulation beruht auf der Annahme eines 1 ha-Schlags (50 x 200 m), einer Mikrosprinkleranlage.  
Eigene Kalkulation, Datenquellen (Fuhrer und Smith 2015; Gazzarini 2016; Gysin 2016a; Gysin 2016b; Kantonale Fachstellen für Obstbau et al. 2016; KTBL 2013).

Bewässerung (ja - nein)	Kultur				Kirsche			
	nein	ja	nein	ja	nein	ja	nein	ja
	alle	Referenz	alle	CC min.	alle	CC max.	alle	Extrem
<b>Szenario</b>								
<b>Boden</b>								
Schlaggrösse (ha)	1	1	1	1	1	1	1	1
Betriebsfläche (ha)	6	6	6	6	6	6	6	6
Bewässerter Fläche, gesamtbetrieblich (ha)	6	6	6	6	6	6	6	6
Relativer Ertragsrückgang (%)	10%	0%	15%	0%	30%	0%	70%	0%
Bewässerungsmenge, bodenabhängig (mm bzw. l/m <sup>2</sup> )	0	75	0	90	0	160	0	295
Bewässerungseffizienz		0.9		0.9		0.9		0.9
<b>auszubringende Wassermenge (m<sup>3</sup>/ha)</b>		<b>833</b>		<b>1'000</b>		<b>1'778</b>		<b>3'278</b>
gesamtbetrieblich ausgebrachte Wassermenge (m <sup>3</sup> )		5'000		6'000		10'667		19'667
Wasserkosten, variable Kosten (Rappen/m <sup>3</sup> )		5.0		5.0		5.0		5.0
fixe Maschinenkosten Bewässerung (Fr./ha)		2'102		2'102		2'102		2'102
variable Maschinenkosten Bewässerung (Fr./ha)		765		919		1'633		3'011
Arbeitskosten (Fr./ha)		392		429		573		777
Wasserkosten (Fr./ha)		42		50		89		164
<b>Gesamtkosten Bewässerung (Fr./ha)</b>		<b>3'301</b>		<b>3'500</b>		<b>4'396</b>		<b>6'054</b>
<b>Bewässerungskosten je m<sup>3</sup></b>		<b>3.96</b>		<b>3.50</b>		<b>2.47</b>		<b>1.85</b>
Ertrag (dt/ha)	108	120	102	120	84	120	36	120
Preis (Fr./dt)	534	534	534	534	534	534	534	534
Direktzahlungen (Fr./ha)	1'300	1'300	1'300	1'300	1'300	1'300	1'300	1'300
<b>Gesamtleistung (Fr./ha)</b>	<b>58'918</b>	<b>65'320</b>	<b>55'717</b>	<b>65'320</b>	<b>46'114</b>	<b>65'320</b>	<b>20'506</b>	<b>65'320</b>
Direktkosten (inkl. Wasserkosten) (Fr./ha)	18'539	18'581	18'539	18'589	18'539	18'628	18'539	18'703
Gemeinkosten (inkl. Land) (Fr./ha)	43'040	46'299	43'040	46'490	43'040	47'347	43'040	48'930
<b>Gesamtkosten (Fr./ha)</b>	<b>61'579</b>	<b>64'880</b>	<b>61'579</b>	<b>65'079</b>	<b>61'579</b>	<b>65'975</b>	<b>61'579</b>	<b>67'633</b>
<b>Kalkulatorischer Gewinn (Fr./ha)</b>	<b>-2'661</b>	<b>440</b>	<b>-5'862</b>	<b>241</b>	<b>-15'465</b>	<b>-655</b>	<b>-41'073</b>	<b>-2'313</b>
<b>Arbeitsverwertung (Fr./Akh)</b>	<b>21.26</b>	<b>24.00</b>	<b>18.75</b>	<b>23.88</b>	<b>11.21</b>	<b>23.29</b>	<b>-8.89</b>	<b>22.15</b>
Bewässerungskosten je dt vermiedener Ertragsausfall (Fr./dt)		275		194		122		72
Gleichgewichtsertrag		114		109		92		95
Gleichgewichtspreis		508		483		410		424
Bewässerungskosten, zu welchen gleiches Ergebnis wie in unbewässelter Situation erreicht wird (Fr./m <sup>3</sup> )		7.68		9.60		10.80		13.67

## 7. Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Analyse der Wirtschaftlichkeit der Bewässerung zeigt grosse Unterschiede zwischen den untersuchten Kulturen Winterweizen, Körnermais, Kunstwiese, Kartoffeln sowie den Sonderkulturen Erdbeeren und Kirschen. Für die Analyse der **Ackerkulturen** wurde ein Modellbetrieb mit 30 ha Landwirtschaftlicher Nutzfläche zugrunde gelegt, wovon 16 ha mit einer mobilen Beregnungsmaschine bewässert werden. Körnermais und Kartoffeln weisen bei stärkeren klimatischen Veränderungen, wie sie die Szenarien CC max. und Extrem abbilden, wirtschaftliche Vorteile der Bewässerung auf. Zwar weist keine der bewässerten Varianten dieser Kulturen einen kalkulatorischen Gewinn auf, jedoch ist der erzielte Verlust jeweils deutlich geringer als in der nicht bewässerten Variante. Die Bewässerung von Winterweizen und Kunstwiesen schneidet im Vergleich mit der Nicht-Bewässerung durchweg schlechter ab. Dies sind die zwei Kulturen mit der in der Referenz geringsten Gesamtleistung. Ausserdem sind die drohenden relativen Ertragsverluste bei klimatischen Veränderungen hier nahezu immer geringer als bei Körnermais und Kartoffeln.

Für die **Sonderkulturen** Erdbeeren und Kirschen wird jeweils ein spezialisierter Betrieb mit 6 ha Fläche angenommen, die vollständig bewässert wird. Während Erdbeeren auch mit einer mobilen Beregnungsmaschine bewässert werden, kommt zur Bewässerung der Dauerkultur Kirschen eine Mikrosprinkleranlage zum Einsatz. In beiden Fällen ist die Bewässerung jeweils vorteilhaft. Dies resultiert aus den hohen (monetären) Flächenleistungen der Sonderkulturen. Die hohen drohenden Verluste werden durch die im Verhältnis dazu geringen Bewässerungskosten jeweils ausgeglichen.

Die Investition in Bewässerungsmaschinen sollte unter Betrachtung der angebauten Kulturen, dem Bodentyp sowie der Verfügbarkeit und dem Preis von Bewässerungswasser standortspezifisch bewertet werden. Für die Wirtschaftlichkeit wesentlich sind einerseits die drohenden monetären Verluste und andererseits die Bewässerungskosten, die von den fixen und variablen Maschinenkosten dominiert werden. Eine erhöhte Bewässerungseffizienz kann zur Senkung der variablen Maschinenkosten der Wasserausbringung beitragen. Zwar machen die Arbeitskosten nur einen geringen Teil der Bewässerungskosten aus; jedoch muss diese Arbeit vor allem in den arbeitsreichen Monaten Juni, Juli und August zusätzlich ausgeführt werden, was zu Engpässen bei der täglichen Arbeitszeitbelastung führen könnte.

Der überbetriebliche Einsatz von grösseren, mobilen Beregnungsmaschinen bietet gemäss Kalkulationsdaten wenig Einsparmöglichkeiten, da sich die fixen und die variablen Kosten mit zunehmender Grösse kaum verändern (KTBL 2013). Kritisch ist in diesem Zusammenhang auch die räumlich und zeitlich zusammentreffende Nachfrage nach Bewässerung zu sehen, die einem überbetrieblichen Einsatz entgegensteht.

Zu einer guten Bewässerungsmachbarkeit können günstige Bedingungen zum Wasserbezug beitragen oder auch möglicherweise vorhandene Beregnungstechnik, die besser ausgelastet werden kann. Eine Möglichkeit zur Kooperation wird gesehen in der gemeinsamen Nutzung von Brunnen. Denkbar sind bei guter Bewässerungssteuerung auch zusätzliche Erträge, die über die Ausgangserträge hinausreichen und – in dieser Studie nicht berücksichtigte – preisrelevante Qualitätsverbesserungen. Diese Faktoren können die Bewässerungswürdigkeit bzw. die Wirtschaftlichkeit im Einzelfall ergeben.

Leistungsseitig könnten mittelfristig steigende Erzeugerpreise die Wirtschaftlichkeit der Bewässerung positiv beeinflussen. Insbesondere in Trockenjahren mit Preisspitzen kann dies die Wirtschaftlichkeit verbessern. Allerdings ist in Trockenjahren auch mit einer erhöhten Wasserkonkurrenz zu rechnen (Amt für Umweltschutz und Energie 2012). Eine in Zukunft wachsende Wasserkonkurrenz könnte auch den Preis des Wassers für die landwirtschaftliche Nutzung erhöhen und so die Wirtschaftlichkeit der Bewässerung einschränken.

Während die in dieser Studie angesetzten Bewässerungsmengen nach Klima, Bodentyp und teilweise der Durchwurzelungstiefe differenziert waren, lagen die Angaben zur Ertragsabweichung lediglich differenziert nach Klimaszenarien vor. Möglicherweise könnte eine weiter ausdifferenzierte Bewertungsgrundlage die Verlässlichkeit der Ergebnisse dieser Untersuchung erhöhen.

Als Anpassung an den Klimawandel erscheint die Bewässerung der Kulturen Winterweizen und Kunstwiesen unter den hier getroffenen Annahmen eine weniger geeignete Massnahme darzustellen. Mittelfristig scheinen für diese Kulturen alternative züchterische und pflanzenbauliche Anpassungsmassnahmen (Leitungsgruppe NFP 61 2015) eine bessere Alternative. Dazu zählen die Einführung (Züchtung) trockenheitstoleranter Sorten, veränderte Saatdaten oder angepasste Fruchtfolgen (OECD 2014). Bei den gegenwärtig bereits bewässerten Kulturen wird mit den prognostizierten Klimaveränderungen der Wasserbedarf deutlich zunehmen. Eine Steigerung der Bewässerungseffizienz in der Landwirtschaft kann die zukünftig wohl wachsende Nachfrage etwas abdämpfen. Als Ersatz für die schrumpfenden Gletscher, welche in niederschlagsarmen Zeiten im Sommer Bäche und Flüsse mit Schmelzwasser speisen, werden künstliche Speicher diskutiert (Thut *et al.* 2016). Wie sich die verschiedenen Einfluss-

faktoren auf die Leistungen und Kosten der Landwirtschaft im Kanton Basel-Landschaft und die Wassernachfrage der Landwirtschaft auswirken sollte zukünftig näher verfolgt werden. So raten Klimafor- scher (Thut *et al.* 2016) zu einem aktiveren Management des Wasserverbrauchs, um die nachhaltige Wassernutzung sicherzustellen.

## Literatur

- AGRIDEA & FiBL, 2015. Deckungsbeiträge 2015. AGRIDEA, Lindau.
- Amt für Umweltschutz und Energie, 2012. Wasserstrategie Kanton Basel-Landschaft  
Grundlagendokument: Herausforderungen – Vision – langfristige Ziele. Kanton Basel-  
Landschaft, Liestal.
- Amt für Umweltschutz und Energie, 2016. Wasserentnahmen. Zugang:  
<https://www.baselland.ch/Wasserentnahmen.303830.0.html> [20.05.2016].
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), 2008. Bewässerung im Ackerbau und in  
gärtnerischen Freilandkulturen. LfL, Freising.
- Béguin J. & Schild D. 2015: Effiziente Bewässerung (NFP 61). Suisse-mélio Fachtagung 16. Juni 2015.  
BLW, Olten.
- Benito P., Mudgal S., Dias D., Jean-Baptiste V., Kong A. M., Inman D. & Muro M., 2009. Water  
Efficiency Standards. *Report for European Commission, DG Environment*, 320 S., Bio  
Intelligence Service and Cranfield University, Paris and Cranfield
- BFS 2016: Landwirtschaftsbetriebe, Beschäftigte, Nutzfläche nach Kanton 2015. BFS, Neuchâtel.
- BLW 2015: Weisungen und Erläuterungen vom 1. Januar 2016 zur Verordnung über die  
Strukturverbesserungen in der Landwirtschaft (Strukturverbesserungsverordnung, SVV; SR  
913.1) vom 7. Dezember 1998 (Stand am 28. Oktober 2015). BLW, Bern.
- Dietiker D. 2013: Beerenkost 2015. AGRIDEA [Hrsg.].
- Fricke E., 2003. Berechnung und Nährstoffausnutzung. Fachverband Feldberechnung e.V., Zugang:  
<http://fachverband-feldberechnung.de/basisinfo.htm> [05.05.2016].
- Fricke E. & Heidorn H., 2003. Effizientes landwirtschaftliches Berechnungs-Management. Fachverband  
Feldberechnung e.V., Zugang: <http://fachverband-feldberechnung.de/basisinfo.htm> [05.05.2016].
- Fuhrer J., 2010. Bewässerungsbedürftigkeit heute und in Zukunft. *Geomatik Schweiz* **108** (10), 448-  
449.
- Fuhrer J. & Smith P., 2015. Grundlagen für die Abschätzung des Bewässerungsbedarfs im Kanton  
Basel-Landschaft. 30 S., Agroscope, Zürich.
- Gazzarin C., 2016. Maschinenkosten 2016. *Agroscope Transfer* 142, 1-52 S., Agroscope,  
Ettenhausen.
- Grünig K., 2007. Kartoffeln hängen am Tropf. *die grüne* (10), 29-31.
- Gysin C. 2016a: Ertragsabweichungen verschiedener Kulturen bei drei Klimamodellen ohne  
Bewässerung.
- Gysin C. 2016b: Ertragsabweichungen von ausgewählten Kulturen bei drei Klimamodellen ohne  
Bewässerung.
- Gysin C. 2016c: Kosten für die Wasserentnahmen aus Oberflächengewässern und Grundwasser.
- Hoop D. & Schmid D., 2015. Grundlagenbericht 2014. Zentrale Auswertung von Buchhaltungsdaten.  
Agroscope, Ettenhausen, 1-286.
- Kanton Basel-Landschaft 2014: Gesetz über den Wasserbau und die Nutzung der Gewässer  
(Wasserbaugesetz, WBauG). GS 35.0316.
- Kanton Basel-Landschaft, o.J. Landwirtschaft Baselland. Zugang: [https://www.baselland.ch/lw\\_bl-hm.279813.0.html](https://www.baselland.ch/lw_bl-hm.279813.0.html) [19.05.2016].
- Kantonale Fachstellen für Obstbau, Kursleiter für Obstbau der Kantone AG, BL, SO, ZH &  
Steinobstzentrum Breitenhof (Eds.), 2016. Anbauempfehlung für die Obstregion  
Nordwestschweiz. Landwirtschaftliches Zentrum Liebegg, Gränichen.
- KTBL, 2013. Freilandbewässerung – Betriebs- und arbeitswirtschaftliche Kalkulationen. *KTBL-  
Datensammlung*, KTBL, Darmstadt.
- Leitungsgruppe NFP 61 (Ed.), 2015. Nachhaltige Wassernutzung in der Schweiz – NFP61 weist Wege  
in die Zukunft. SNF: Gesamtsynthese im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms  
NFP 61 «Nachhaltige Wassernutzung», Bern.
- LfL, 2008. Bewässerung im Ackerbau und in gärtnerischen Freilandkulturen. LfL, Freising.
- Marbot B., Schneider M. & Flury C., 2013. Wiesenbewässerung im Berggebiet. 55 S., Agroscope,  
Ettenhausen und Zürich.

- Mastel K., 2002. Beregnung und Bewässerung landwirtschaftlicher und gärtnerischer Kulturen. *Merckblätter für die Umweltgerechte Landbewirtschaftung* **24**, Landesanstalt für Pflanzenbau Baden-Württemberg, Rheinstetten.
- Monney P., 2010. Bewässerung von Obstkulturen. *Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau* **21** (10), 10-13.
- OECD, 2014. Climate Change, Water and Agriculture. Publishing O.: *OECD Studies on Water*, OECD Publishing, Paris, 104 S.
- Rogers D. H., Lamm F. R., Alam M., Trooien T. P., Clark G. A., Barnes P. L. & Mankin K., 1997. Efficiencies and water losses of irrigation systems. Cooperative Extension Service, Manhattan.
- Schweizerischer Bundesrat 1998: Verordnung über die Strukturverbesserungen in der Landwirtschaft (SVV). Schweizerische Bundesrat [Hrsg.]. AS 1998 3092, Bern.
- Stadler H. 2006: Bewässerung. Historisches Lexikon der Schweiz. Historisches Lexikon der Schweiz, Bern.
- Statistisches Amt des Kantons Basel-Landschaft 2015: Land- und Forstwirtschaft. Statistisches Amt BL, Liestal.
- Teichert A., 2009. Freiland Tropfbewässerung im Gemüsebau und weiteren gärtnerischen Kulturen. In: Wasser im Gartenbau. (Eds. Dirksmeyer W. & Sourell H.), vTI, Braunschweig.
- Thut W. K., Weingartner R. & Schädler B., 2016. Zur Bedeutung von Mehrzweckspeichern in der Schweiz. *Wasser Energie Luft* (1), 21.
- von Haaren J. & von Haaren M., 2014. Planung von Beregnungssystemen zur Anpassung an den Klimawandel. 48 S., Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK), Uelzen.
- Weber M. & Schild A., 2007. Stand der Bewässerung in der Schweiz: Bericht zur Umfrage 2006. Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Bern.
- Zorn A., Hoop D., Gazzarin C. & Lips M., 2015. Produktionskosten der Betriebszweige des kombinierten Betriebstyps Verkehrsmilch/Ackerbau. *Agroscope Science* 25, 46 S., Agroscope, Ettenhausen.

# Anhang

## A1) Kosten-Leistungsrechnungen

- Winterweizen
- Körnermais
- Kunstwiese
- Kartoffeln
- Erdbeeren
- Kirschen

## A2) Notwendige Bewässerungsmengen

- Winterweizen
- Körnermais
- Kunstwiese
- Kartoffeln
- Erdbeeren
- Kirschen
- Gesamtbetrieblich ausgebrachte Wassermenge

## A1) Kosten-Leistungsrechnungen

**Tabelle 12: Kosten-/Leistungsrechnung pro Hektare Winterweizen in der Referenzsituation**

<b>Winterweizen</b>				
<b>Schlaggrösse 2 ha</b>				
Leistungen				
	Leistungen Hauptprodukt		Fr./ha	3615
		<b>Ertrag</b>	<b>dt./ha</b>	<b>70</b>
		<b>Preis</b>	<b>Fr./dt</b>	<b>51.64</b>
	Leistungen Nebenprodukt		Fr./ha	
	Direktzahlungen		Fr./ha	1300
<b>LEISTUNGEN total</b>			<b>Fr./ha</b>	<b>4915</b>
Direktkosten				
	Saatgut		Fr./ha	262
	Düngung		Fr./ha	321
	Pflanzenschutz		Fr./ha	207
	andere Direktkosten		Fr./ha	295
Land				700
Gemeinkosten				
	Arbeit		Fr./ha	804
	<b>Arbeitsaufwand</b>	<b>28.70 h</b>		
	Maschinen		Fr./ha	1375
	Gebäude		Fr./ha	134
	andere Gemeinkosten		Fr./ha	197
<b>KOSTEN total</b>			<b>Fr./ha</b>	<b>4295</b>
<b>Kalkulatorischer Gewinn</b>			<b>Fr./ha</b>	<b>620</b>
<b>Arbeitsverwertung</b>			<b>Fr./h</b>	<b>49.59</b>

Quelle: Eigene Kalkulation (unter Verwendung der Angaben/von Daten aus AGRIDEA und FiBL 2015; Gazzarin 2016; Hoop und Schmid 2015)

**Tabelle 13: Kosten-/Leistungsrechnung pro Hektare Körnermais in der Referenzsituation**

<b>Körnermais</b>				
<b>Schlaggrösse 2 ha</b>				
Leistungen				
	Leistungen Hauptprodukt			4273
		<b>Ertrag</b>	<b>dt./ha</b>	<b>120</b>
		<b>Preis</b>	<b>Fr./dt</b>	<b>35.61</b>
	Leistungen Nebenprodukt		Fr./ha	
	Direktzahlungen		Fr./ha	1300
<b>LEISTUNGEN total</b>			<b>Fr./ha</b>	<b>5573</b>
Direktkosten				
	Saatgut		Fr./ha	276
	Düngung		Fr./ha	313
	Pflanzenschutz		Fr./ha	209
	andere Direktkosten		Fr./ha	680
Land				700
Gemeinkosten				
	Arbeit		Fr./ha	734
	<b>Arbeitsaufwand</b>	<b>26.22 h</b>		
	Maschinen		Fr./ha	1201
	Gebäude		Fr./ha	60
	andere Gemeinkosten		Fr./ha	181
<b>KOSTEN total</b>			<b>Fr./ha</b>	<b>4354</b>
<b>Kalkulatorischer Gewinn</b>			<b>Fr./ha</b>	<b>1219</b>
<b>Arbeitsverwertung</b>			<b>Fr./h</b>	<b>74.49</b>

Quelle: Eigene Kalkulation (unter Verwendung der Angaben/von Daten aus AGRIDEA und FiBL 2015; Gazzarin 2016; Hoop und Schmid 2015)

**Tabelle 14: Kosten-/Leistungsrechnung pro Hektare *Kunstwiese* in der Referenzsituation**

Kunstwiese				Mittelwert (50% Heu, 50% Silage)
<b>Schlaggrösse 2 ha</b>				
Leistungen				
	Leistungen Hauptprodukt			3741
		<b>Ertrag</b>	<b>dt/ha</b>	<b>252</b>
		<b>Preis</b> (gewichteter Misch-)	<b>Fr./dt</b>	<b>15</b>
	Leistungen Nebenprodukt		Fr./ha	
	Direktzahlungen		Fr./ha	900
<b>LEISTUNGEN total</b>			<b>Fr./ha</b>	<b>4641</b>
Direktkosten				
	Saatgut		Fr./ha	206
	Düngung		Fr./ha	202
	Pflanzenschutz		Fr./ha	22
	andere Direktkosten		Fr./ha	39
Land				700
Gemeinkosten				
	Arbeit		Fr./ha	802
	<b>Arbeitsaufwand</b>	<b>28.6 h</b>		
	Maschinen		Fr./ha	1740
	Gebäude		Fr./ha	0
	andere Gemeinkosten		Fr./ha	171
<b>KOSTEN total</b>			<b>Fr./ha</b>	<b>3882</b>
<b>Kalkulatorischer Gewinn</b>			<b>Fr./ha</b>	<b>759</b>
<b>Arbeitsverwertung</b>			<b>Fr./h</b>	<b>54.50</b>

Quelle: Eigene Kalkulation (unter Verwendung der Angaben/von Daten aus AGRIDEA und FiBL 2015; Gazzarin 2016; Hoop und Schmid 2015)

Die Kosten-Leistungsrechnung der Kunstwiese basiert auf einer Mischkalkulation, die zu 50 % auf der Heuproduktion zum Verkauf ab Schwad und zu 50 % auf der Produktion von Silo-Rundballen basiert. Der Ertrag ist in dt Frischsubstanz je ha angegeben, der Preis ist ein gewichteter Mittelwert. Ertragsreduktionen werden zu gleichen Teilen auf die Heu- und die Siloballenerzeugung umgelegt.

**Tabelle 157: Kosten-/Leistungsrechnung pro Hektare *Kartoffeln* in der Referenzsituation**

Kartoffeln				
<b>Schlaggrösse 2 ha</b>				
Leistungen				
	Leistungen Hauptprodukt		Fr./ha	14260
		<b>Ertrag</b>	<b>dt/ha</b>	<b>400</b>
		<b>Preis</b>	<b>Fr./dt</b>	<b>35.65</b>
	Leistungen Nebenprodukt		Fr./ha	
	Direktzahlungen		Fr./ha	1300
<b>LEISTUNGEN total</b>			<b>Fr./ha</b>	<b>15560</b>
Direktkosten				
	Saatgut		Fr./ha	2999
	Düngung		Fr./ha	920
	Pflanzenschutz		Fr./ha	1024
	andere Direktkosten		Fr./ha	506
Land				700
Gemeinkosten				
	Arbeit		Fr./ha	4062
	<b>Arbeitsaufwand</b>	<b>145.06 h/ha</b>		
	Maschinen		Fr./ha	3135
	Gebäude		Fr./ha	210
	andere Gemeinkosten		Fr./ha	464
<b>KOSTEN total</b>			<b>Fr./ha</b>	<b>14020</b>
<b>Kalkulatorischer Gewinn</b>			<b>Fr./ha</b>	<b>1540</b>
<b>Arbeitsverwertung</b>			<b>Fr./h</b>	<b>38.62</b>

Quelle: Eigene Kalkulation (unter Verwendung der Angaben/von Daten aus AGRIDEA und FiBL 2015; Gazzarin 2016; Hoop und Schmid 2015)

**Tabelle 168:** Kosten-/Leistungsrechnung pro Hektare **Erdbeeren** in der Referenzsituation

<b>Erdbeere</b>				
<b>Schlaggrösse 1 ha</b>				
Leistungen	Erdbeere			
	Leistungen Hauptprodukt		Fr./ha	81000
		<b>Ertrag</b>	<b>dt./ha</b>	<b>150</b>
		<b>Preis</b>	<b>Fr./dt</b>	<b>540</b>
	Leistungen Nebenprodukt		Fr./ha	
	Direktzahlungen		Fr./ha	1300
<b>LEISTUNGEN total</b>			<b>Fr./ha</b>	<b>82300</b>
Direktkosten				
	Saatgut		Fr./ha	12500
	Düngung		Fr./ha	566.5
	Pflanzenschutz		Fr./ha	4211.57
	andere Direktkosten		Fr./ha	15518
Land				700
Gemeinkosten				
	Arbeit		Fr./ha	42540
	<b>Arbeitsaufwand</b>	<b>1987</b>	<b>h/ha</b>	
	Maschinen		Fr./ha	1368
	Gebäude		Fr./ha	880
	andere Gemeinkosten		Fr./ha	4644
<b>KOSTEN total</b>			<b>Fr./ha</b>	<b>82929</b>
<b>Kalkulatorischer Gewinn</b>			<b>Fr./ha</b>	<b>-629</b>
<b>Arbeitsverwertung</b>			<b>Fr./h</b>	<b>21.09</b>

Quelle: Dietiker (2013); Gazzarin (2016).

**Tabelle 17:** Kosten-/Leistungsrechnung pro Hektare **Kirschen** in der Referenzsituation

<b>Kirschen</b>				
<b>Schlaggrösse 1 ha</b>				
Leistungen				
	Leistungen Hauptprodukt		Fr./ha	64020
		<b>Ertrag</b>	<b>dt./ha</b>	<b>120</b>
		<b>Preis</b>	<b>Fr./dt</b>	<b>533.5</b>
	Leistungen Nebenprodukt		Fr./ha	
	Direktzahlungen		Fr./ha	1300
<b>LEISTUNGEN total</b>			<b>Fr./ha</b>	<b>65320</b>
Direktkosten				
	Saatgut		Fr./ha	0
	Düngung		Fr./ha	368
	Pflanzenschutz		Fr./ha	2152
	andere Direktkosten		Fr./ha	16019.002
Land				700
Gemeinkosten				
	Arbeit		Fr./ha	29749
	<b>Arbeitsaufwand</b>	<b>1274</b>	<b>h/ha</b>	
	Maschinen		Fr./ha	9089
	Gebäude		Fr./ha	450
	andere Gemeinkosten		Fr./ha	3052.1901
<b>KOSTEN total</b>			<b>Fr./ha</b>	<b>61579</b>
<b>Kalkulatorischer Gewinn</b>			<b>Fr./ha</b>	<b>3741</b>
<b>Arbeitsverwertung</b>			<b>Fr./h</b>	<b>26.29</b>

Quelle: Gazzarin (2016); Kantonale Fachstellen für Obstbau *et al.* (2016).

## A2) Notwendige Bewässerungsmengen

**Tabelle 18:** Notwendige Bewässerungsmengen (mm) von **Winterweizen**, um Ertragsverluste zu vermeiden bei drei Bodentypen für die Referenz und drei Klimaszenarien.

Boden	Klima	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Total
1	Ref	0	0	0	10	5	0	0	0	15
1	CC min	0	0	0	10	10	0	0	0	20
1	CC max	0	0	0	20	15	0	0	0	35
1	Extrem	0	0	85	130	20	0	0	0	235
2	Ref	0	0	5	25	15	0	0	0	50
2	CC min	0	0	5	30	20	0	0	0	55
2	CC max	0	0	10	40	30	0	0	0	80
2	Extrem	0	0	120	130	30	0	0	0	280
3	Ref	0	0	20	45	25	0	0	0	85
3	CC min	0	0	20	45	25	0	0	0	95
3	CC max	0	5	25	55	35	0	0	0	120
3	Extrem	0	40	110	130	40	0	0	0	320

Quelle: Fuhrer und Smith (2015, S. 13)

**Tabelle 199:** Notwendige Bewässerungsmengen (mm) von **Körnermais**, um Ertragsverluste zu vermeiden bei drei Bodentypen für die Referenz und drei Klimaszenarien.

Boden	Klima	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Total
1	Ref	0	0	0	0	0	10	5	0	15
1	CC min	0	0	0	0	0	15	10	0	20
1	CC max	0	0	0	0	5	50	15	0	70
1	Extrem	0	0	0	0	25	60	40	0	120
2	Ref	0	0	0	0	10	30	10	0	50
2	CC min	0	0	0	0	15	35	10	0	60
2	CC max	0	0	0	0	25	70	25	0	120
2	Extrem	0	0	0	0	45	75	35	0	160
3	Ref	0	0	0	0	30	45	15	0	95
3	CC min	0	0	0	0	35	50	20	0	105
3	CC max	0	0	0	0	55	75	30	0	160
3	Extrem	0	0	0	15	65	75	40	0	200

Quelle: Fuhrer und Smith (2015, S. 13)

**Tabelle 2010:** Notwendige Bewässerungsmengen (mm) von **Kunstwiese** (gemäht, **Durchwurzelungstiefe 110 cm**), um Ertragsverluste zu vermeiden bei drei Bodentypen für die Referenz und drei Klimaszenarien.

Boden	Klima	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Total
1	Ref	0	0	0	0	10	5	0	0	20
1	CC min	0	0	0	5	10	15	0	0	35
1	CC max	0	0	0	10	30	40	10	5	100
1	Extrem	0	0	100	80	60	45	20	20	315
2	Ref	0	0	5	10	25	15	5	0	60
2	CC min	0	0	5	10	30	25	5	0	75
2	CC max	0	5	5	20	50	50	15	5	150
2	Extrem	0	30	95	95	70	45	10	10	360
3	Ref	0	5	15	25	35	25	5	0	115
3	CC min	0	10	15	25	40	30	10	5	130
3	CC max	0	15	15	35	55	50	20	5	200
3	Extrem	0	70	95	90	60	55	20	10	405

Quelle: Fuhrer und Smith (2015, S. 14)

**Tabelle21:** Notwendige Bewässerungsmengen (mm) von **Kunstwiese** (gemäht, **Durchwurzelungstiefe 60 cm**), um Ertragsverluste zu vermeiden bei drei Bodentypen für die Referenz und drei Klimaszenarien.

Boden	Klima	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Total
1	Ref	0	0	5	15	25	20	5	0	75
1	CC min	0	5	5	15	30	25	5	5	90
1	CC max	0	5	10	25	55	50	15	5	160
1	Extrem	0	40	105	90	60	50	20	10	375
2	Ref	0	5	15	25	35	25	5	0	115
2	CC min	0	10	15	25	40	30	10	5	130
2	CC max	0	15	15	35	55	50	20	5	200
2	Extrem	0	70	95	90	60	55	20	10	405
3	Ref	0	5	15	25	35	25	5	0	115
3	CC min	0	10	15	25	40	30	10	5	130
3	CC max	0	15	15	35	55	50	20	5	200
3	Extrem	0	70	95	90	60	55	20	10	405

Quelle: Fuhrer und Smith (2015, S. 14)

**Tabelle 22:** Notwendige Bewässerungsmengen (mm) von **Kartoffeln**, um Ertragsverluste zu vermeiden bei drei Bodentypen für die Referenz und drei Klimaszenarien.

Boden	Klima	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Total
1	Ref	0	0	0	25	55	35	0	0	110
1	CC min	0	0	0	30	60	35	0	0	125
1	CC max	0	0	0	35	85	55	5	0	180
1	Extrem	0	0	35	115	95	50	0	0	295
2	Ref	0	0	0	35	65	40	0	0	145
2	CC min	0	0	0	40	70	40	0	0	155
2	CC max	0	0	5	50	90	60	5	0	205
2	Extrem	0	0	50	120	75	60	10	0	315
3	Ref	0	0	0	35	65	40	0	0	145
3	CC min	0	0	0	40	70	40	0	0	155
3	CC max	0	0	5	50	90	60	5	0	205
3	Extrem	0	0	50	120	75	60	10	0	315

Quelle: Fuhrer und Smith (2015, S. 12)

**Table 23:** Notwendige Bewässerungsmengen (mm) von **Erdbeeren** (**Durchwurzelungstiefe 60 cm**), um Ertragsverluste zu vermeiden bei drei Bodentypen für die Referenz und drei Klimaszenarien.

Boden	Klima	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Total
1	Ref	0	0	10	30	25	0	0	0	65
1	CC min	0	0	10	30	30	0	0	0	75
1	CC max	0	0	10	40	35	5	0	0	95
1	Extrem	0	0	85	115	40	0	0	0	240
2	Ref	0	0	20	35	35	5	0	0	90
2	CC min	0	0	20	35	35	5	0	0	100
2	CC max	0	0	20	45	50	10	0	0	125
2	Extrem	0	25	75	105	40	0	0	0	250
3	Ref	0	0	20	35	35	5	0	0	90
3	CC min	0	0	20	35	35	5	0	0	100
3	CC max	0	0	20	45	50	10	0	0	125
3	Extrem	0	25	75	105	40	0	0	0	250

Quelle: Fuhrer und Smith (2015, S. 6)

**Table 24:** Notwendige Bewässerungsmengen (mm) von **Erdbeeren** (**Durchwurzelungstiefe 30 cm**), um Ertragsverluste zu vermeiden bei drei Bodentypen für die Referenz und drei Klimaszenarien.

Boden	Klima	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Total
1	Ref	0	5	20	40	35	5	0	0	105
1	CC min	0	5	20	45	40	5	0	0	115
1	CC max	0	5	25	50	50	10	0	0	140
1	Extrem	0	30	80	105	40	0	0	0	260
2	Ref	0	5	30	50	45	10	0	0	140
2	CC min	0	10	30	50	45	10	0	0	145
2	CC max	0	10	30	55	55	15	0	0	170
2	Extrem	0	35	75	110	50	0	0	0	270
3	Ref	0	5	30	50	45	10	0	0	140
3	CC min	0	10	30	50	45	10	0	0	145
3	CC max	0	10	30	55	55	15	0	0	170
3	Extrem	0	35	75	110	50	0	0	0	270

Quelle: Fuhrer und Smith (2015, S. 6)

**Tabelle 25:** Gesamtbetrieblich ausgebrachte Wassermengen in drei Klimaszenarien, drei Bodentypen und unterschiedliche Bodentypen. Der Kalkulation liegt im Ackerbau die Annahme von 16 ha gesamtbetrieblich bewässerter Fläche zugrunde, bei den Sonderkulturen Erdbeeren und Kirschen wird jeweils von 6 ha bewässerter Fläche ausgegangen..  
Eigene Kalkulation, Datenquellen (Fuhrer und Smith 2015; Gysin 2016a).

		Bewässerungsmengen (mm)						BODEN 2						BODEN 3					
		BODEN 1			BODEN 2			BODEN 2			BODEN 3			BODEN 3			BODEN 3		
		Ref	CC min	CC min	Ref	CC min	CC min	Ref	CC min	CC min	Ref	CC min	CC min	Ref	CC min	CC min	Ref	CC min	CC min
		kor.	kor.	kor.	kor.	kor.	kor.	kor.	kor.	kor.	kor.	kor.	kor.	kor.	kor.	kor.	kor.	kor.	kor.
Kultur	Fläche (ha)	Ref	CC min	CC min	Ref	CC min	CC min	Ref	CC min	CC min	Ref	CC min	CC min	Ref	CC min	CC min	Ref	CC min	CC min
		Extrem	Extrem	Extrem	Extrem	Extrem	Extrem	Extrem	Extrem	Extrem	Extrem	Extrem	Extrem	Extrem	Extrem	Extrem	Extrem	Extrem	Extrem
Winterweizen	1	15	20	0	0	35	235	50	55	0	80	280	85	95	0	120	320		
Körnermais	1	15	20	0	0	70	120	50	60	0	120	160	95	105	0	160	200		
Kunstwiese	1	20	35	0	35	100	315	60	75	0	75	360	115	130	0	200	405		
Kartoffeln	1	110	125	110	125	180	295	145	155	145	205	315	145	155	145	205	315		
Erdbeere	1	65	75	65	75	95	240	90	100	90	125	250	90	100	90	125	250		
Kirsche	1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	75	90	75	160	295	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.		
bewässerte Fläche (ha)		<b>Bewässerungsmengen je Kultur (m³)</b>						<b>Bewässerungsmengen je Kultur (m³)</b>						<b>Bewässerungsmengen je Kultur (m³)</b>					
		(1 mm = 1 l/m² = 10 m³/ha)						(1 mm = 1 l/m² = 10 m³/ha)						(1 mm = 1 l/m² = 10 m³/ha)					
Winterweizen	4			0	0	1'400	9'400			0	3'200	11'200			0	4'800	12'800		
Körnermais	4			0	0	2'800	4'800			0	4'800	6'400			0	6'400	8'000		
Kunstwiese	4			0	1'400	4'000	12'600			0	3'000	14'400			0	8'000	16'200		
Kartoffeln	4			4'400	5'000	7'200	11'800			5'800	8'200	12'600			5'800	8'200	12'600		
Erdbeere	6			3'900	4'500	5'700	14'400			5'400	7'500	15'000			5'400	7'500	15'000		
Kirsche	6			k.A.	k.A.	k.A.	k.A.			4'500	9'600	17'700			k.A.	k.A.	k.A.		
<b>Bewässerungseffizienz</b>																			
Winterweizen, Körnermais,		0.65																	
Kunstwiese, Kartoffeln, Erdbeere		0.90																	
Kirsche																			
<b>Gesamtbetriebliche ausgebrachte Wassermenge (m³)</b>		<b>Gesamtbetriebliche ausgebrachte Wassermenge (m³)</b>																	
Ackerbaubetrieb	16	6'769	9'846	23'692	59'385	8'923	14'154	34'154	68'615	8'923	17'538	42'154	76'308						
Erdbeere-Betrieb	6	6'000	6'923	8'769	22'154	8'308	9'231	11'538	23'077	8'308	9'231	11'538	23'077						
Kirschen-Betrieb	6	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	5'000	6'000	10'667	19'667	5'000	6'000	10'667	19'667	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.