

## Anhang j)

### Ermittlung des Bewässerungsbedarfs für die Landwirtschaft

Ein Beitrag von Agroscope Reckenholz  
Autoren: Dr. Pascale Smith, Prof. Dr. Jürg Fuhrer

Dieser Anhang beschreibt, wie mittels separat zur Verfügung gestellten Tabellen der Bewässerungsbedarf (im Sinne von Pflanzen-Zusatzwasserbedarf) pro angepflanzte Kultur und ausgewählte Wetterstation in Abhängigkeit von Klimaszenarien und Bodentypen auf monatlicher Skala abgeschätzt und, darauf basierend, der Bewässerungsbedarf (im Sinne von Nachfrage an Wasserressource) in einem Bilanzierungsraum hochgerechnet werden kann.

<b>1</b>	<b>Ziele des Anhangs</b>	<b>2</b>
1.1	Leitfragen	2
1.2	Resultate	2
<b>2</b>	<b>Methodik Modellrechnungen Agroscope</b>	<b>3</b>
2.1	Ausgewählte Regionen/Stationen	3
2.2	Herleitung der Klimaszenarien	4
2.3	Berechnungsansatz	5
2.4	Tabellen und Lesehilfe	6
<b>3</b>	<b>Hochrechnung des Bewässerungsbedarfs auf den Bilanzierungsraum</b>	<b>7</b>
3.1	Darstellungsbeispiel	7
3.2	Hochrechnungsbeispiel	7
<b>4</b>	<b>Referenzen</b>	<b>9</b>

# 1 Ziele des Anhangs

## 1.1 Leitfragen

Dieser Anhang gibt Antwort auf folgende Leitfragen:

- Wie gross ist der Bewässerungsbedarf im Bilanzierungsraum:
  - Heute in einem Durchschnittsjahr? In einem Trockenjahr?
  - Saisonal? Kultur- und bodenspezifisch?
- Welche Veränderungen ergeben sich aufgrund von Klimaszenarien für die Zukunft?

### Abgrenzung:

Zur Sicherung von Ertrag und Qualität landwirtschaftlicher Kulturen ist in vielen Fällen eine Bewässerung unumgänglich. Die dafür nutzbare Wassermenge ist aber oft begrenzt. Besonders während längerer Trockenperioden kann es zu Wasserknappheit kommen. Mit dem Klimawandel könnten solche kritischen Situationen künftig häufiger werden. Um diese Situationen zu entschärfen und sich auf künftige Bedingungen vorzubereiten, braucht es eine gute Planung der Wasserreserven und des Wasserverbrauchs verschiedener Nutzer, einschliesslich der Landwirtschaft.

Der Bewässerungsbedarf ist abhängig von Kulturart, Entwicklungszustand, Witterung und Boden und ist deshalb räumlich und zeitlich variabel. Er kann mit dynamischen Modellen zeitlich fein aufgelöst und räumlich präzise berechnet werden. Die Anforderungen an solche Modellrechnungen sind allerdings sehr hoch. Für die Praxis bietet sich deshalb eine vereinfachte Methode an, welche es erlaubt, für wichtige Kulturen und Bodentypen eine zeitlich grob aufgelöste Angabe zum Bewässerungsbedarf zu machen, sowohl für ‚normale‘ Jahre, wie auch für Extremjahre oder Klimabedingungen der Zukunft (Klimaszenarien).

## 1.2 Resultate

Nach der Bearbeitung dieses Arbeitsschrittes ist der Bewässerungsbedarf für eine Region in m<sup>3</sup> hochgerechnet. Mit Hilfe der Faktoren gemäss Tabelle 1 können unterschiedliche Szenarien der Bewirtschaftung und des Klimas berücksichtigt werden.

**Tab. 1: Faktoren zur Hochrechnung des Bewässerungsbedarfs mit der vorliegenden Methode**

<b>Wetterstation</b>	14 Stationen in verschiedenen grossen Klimaregionen, in welche die Schweizer Ackerbau- und Grünlandnutzungsgebiete unterteilt werden können (siehe 2.1).
<b>Kultur</b>	Ohne voralpine und alpine Hanglagen: Beeren (Erdbeere), Gemüse (Randen frisch und Lager und Zwiebel), Kartoffel, Zuckerrübe, Obst (Kirsche, Zwetschge und Apfel; begrünt), Reben, Mais, Weizen, Grünland (gemäht und beweidet). Wo angebracht, Unterscheidung zwischen 3 Durchwurzelungstiefen (30, 60 oder 110 cm).
<b>Boden</b>	3 Werte der nutzbaren Feldkapazität (rundwasserfern), die einen Teil der breiten Spanne möglicher Bodeneigenschaften (Körnung, Gründigkeit, Skelettgehalt u.s.w.) decken.
<b>Klimaszenario</b>	3 Klimaszenario-Typen unter Einbezug der Daten entsprechender Wetterstationen (siehe 2.2): -Mittleres Klima: Referenzperiode 1981-2010 -Verändertes Klima Zeithorizont 2060: Zukunftsperiode 2045-2074 -Extrem-Szenario „4014“: Kombination der Jahre 2011 und 2003

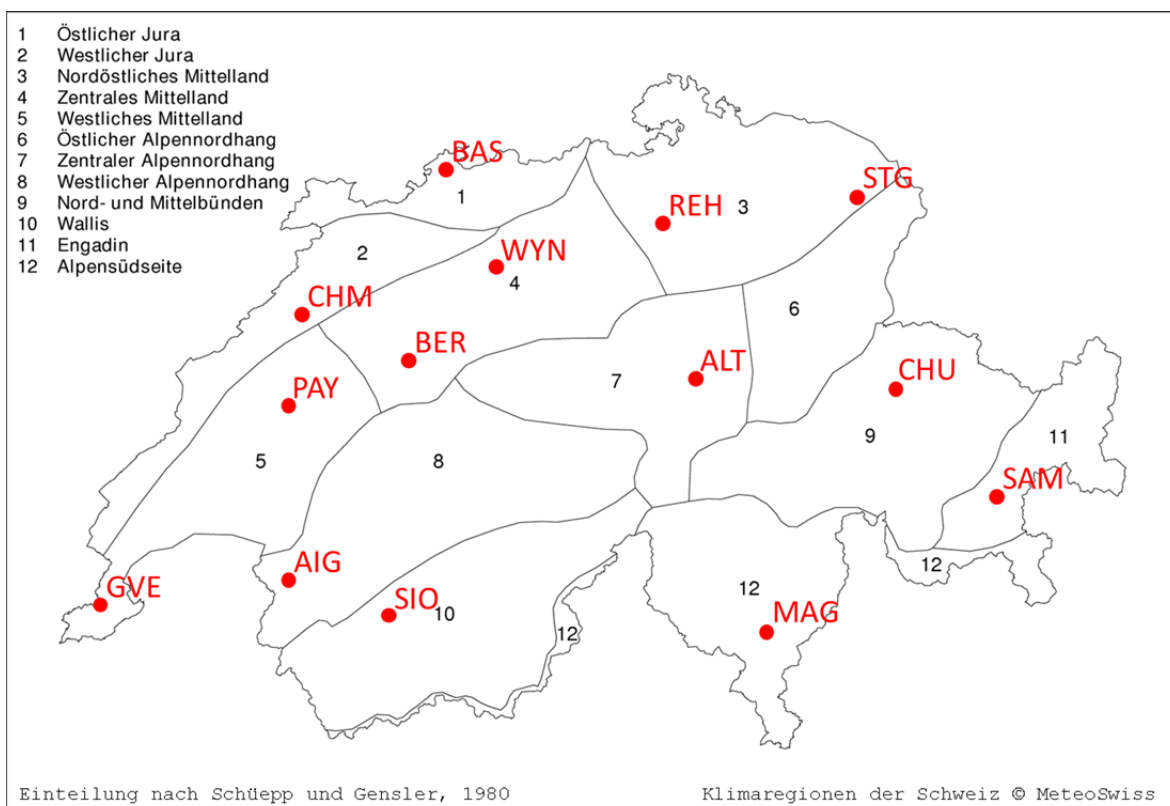
## 2 Methodik Modellrechnungen Agroscope

### 2.1 Ausgewählte Regionen/Stationen

Die Auswahl der Stationen richtete sich nach (a) der Lage in wichtigen Anbaubereichen, (b) der Verfügbarkeit der Wetterdaten (1981-2013, täglich), die in der Datenbank von MeteoSchweiz abrufbar sind (Ausnahme: Chaumont, Daten der NABEL Station), und (c) unterhalb 1000 m ü.M. liegen (Ausnahmen: Samedan und Chaumont).

**Tab. 2: Liste der grossen Klimaregionen und ausgewählten Stationen mit ihren Namencode und m ü.M**

Grosse Klimaregion (nach Schüepp und Gensler, 1980)	Stationen (siehe Abb. 1)	Höhe (m ü.M.)
Östlicher Jura	Basel-Binningen, BAS	316
Westlicher Jura	Chaumont, CHM	1136
Nordöstliches Mittelland	Zürich-Affoltern, REH; St. Gallen, STG	444, 776
Zentrales Mittelland	Wynau, WYN; Bern-Zollikofen, BER	422, 553
Westliches Mittelland	Payerne, PAY; Genève-Cointrin, GVE	490, 420
Zentraler Alpennordhang /Tallagen	Altdorf, ALT	438
Nord- und Mittelbünden /Tallagen	Chur, CHU	556
Engadin /Tallagen	Samedan, SAM	1709
Wallis /Tallagen	Aigle, AIG (feuchter); Sion SIO (trockener)	381, 482
Alpensüdseite /Tallagen	Magadino, MAG	203



**Abb. 1: Lage der ausgewählten Stationen in den grossen Klimaregionen der Schweiz**

## 2.2 Herleitung der Klimaszenarien

Die Klimadaten für heutige mittlere Bedingungen (Temperatur, Strahlung und Niederschlag) stammen von repräsentativen Wetterstationen (siehe 2.1). Als Referenzperiode wurden die Jahre 1981-2010 verwendet. Das ‚Normaljahr‘ (**Ref**) entspricht dem Mittelwert dieser Periode. Als fiktives künftiges Extremjahr („4014“) wurde eine Kombination aus den Jahren 2003 (warm-trockener Sommer) und 2011 (trockenes Frühjahr) verwendet (**Extrem**). Dazu wurde jeweils der Monat mit der tiefsten kumulierten atmosphärischen Wasserbilanz (Niederschlag minus Verdunstung: P-ET<sub>o</sub>) gewählt. Die Werte für ET<sub>o</sub> wurden aus täglichen Strahlungs- und Temperatur-Daten aufgrund der Formel von Turc berechnet. In der folgenden Tabelle ist für die ausgewählten Stationen dargestellt, welches Jahr für den jeweiligen Monat berücksichtigt wurde:

**Tab. 3: Auswahl des Jahres 2003 oder 2011 für jeden Monat und Station in der Kombination „4014“**

Station	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
<b>AIG</b>	2011	2011	2003	2011	2003	2003	2003	2011	2003	2011	2011	2003
<b>ALT</b>	2011	2011	2003	2011	2003	2003	2003	2003	2003	2011	2011	2003
<b>BAS</b>	2011	2011	2003	2011	2011	2003	2003	2011	2003	2011	2011	2003
<b>BER</b>	2011	2003	2011	2011	2011	2003	2003	2011	2003	2011	2011	2003
<b>CHM</b>	2011	2003	2003	2011	2011	2003	2003	2011	2003	2011	2011	2003
<b>CHU</b>	2011	2011	2003	2011	2003	2003	2003	2003	2003	2011	2011	2003
<b>GVE</b>	2011	2011	2003	2011	2011	2003	2003	2011	2011	2011	2011	2003
<b>MAG</b>	2003	2003	2003	2011	2003	2003	2003	2003	2003	2011	2011	2011
<b>PAY</b>	2011	2011	2011	2011	2011	2003	2003	2011	2003	2011	2011	2003
<b>REH</b>	2011	2011	2003	2011	2011	2003	2003	2011	2003	2011	2011	2003
<b>SAM</b>	2011	2011	2003	2011	2011	2003	2003	2011	2003	2011	2011	2003
<b>SIO</b>	2011	2011	2003	2011	2011	2003	2003	2011	2003	2011	2011	2003
<b>STG</b>	2011	2003	2003	2011	2011	2003	2003	2003	2003	2011	2011	2003
<b>WYN</b>	2011	2011	2011	2011	2011	2003	2003	2003	2003	2011	2011	2003

Als Klimaszenarien für den Zeithorizont 2060 (2045-2074) wurden basierend auf dem A1B Emissionsszenario (das A2 Szenario ist bis 2060 unwesentlich anders) die Ergebnisse aus zwei Klimamodellketten verwendet: SMHI-RCA-BCM als mildes (**CC min**) und ETHZ-HadCM3Q0-CLM als starkes (**CC max**) Klimaszenario. Die beiden Szenarien stellen, besonders in Bezug auf die Änderung der Temperatur, einen unteren und oberen Bereich aller verfügbaren Projektionen für A1B dar. Mögliche Veränderungen der Strahlung wurden vorderhand nicht berücksichtigt. Für diese Szenarien (und nur A1B) liefert das Projekt CH2011 ([www.ch2011.ch/de](http://www.ch2011.ch/de)) tägliche Werte für die Abweichungen der Temperatur (absolut) und des Niederschlags (%) im Durchschnittsjahr der Zukunftsperiode relativ zum Mittel der Referenzperiode (sog. Delta-Werte) für die ausgewählten Stationen [1].

Für die Berechnung des Bewässerungsbedarfs wurden diese täglichen Inputdaten über die 30-Jahre Perioden (oder 1 Jahr im Falle des Extremjahres) verwendet. Die Simulationsergebnisse wurden auf der Outputdaten-Ebene pro Monat aggregiert und über die entsprechenden Zeitperioden gemittelt (Referenz, Zukunft). Der gesamte saisonale Bewässerungsbedarf entspricht schliesslich der Summe der monatlichen Werte für die Periode März bis Oktober.

## 2.3 Berechnungsansatz

Eine ausführlichere Beschreibung des Berechnungsansatzes (der nicht für Tropfbewässerung gilt, ausser es handelt sich um Mikro-Sprinkler, die mindestens 50% der gesamten Oberfläche benetzen, <http://www.agrometeo.ch/de>) ist im Bericht „Grundlagen für die Abschätzung des Bewässerungsbedarfs im Kanton Basel-Landschaft“ am Beispiel der Station Basel-Binningen zu finden [4].

Die Berechnung des täglichen Bewässerungsbedarfs unter einem bestimmten Klima, für eine ausgewählte Kultur und auf einem gegebenen Boden, beruht auf der Arbeit von Smith et al. [2a Abschnitt 3.3, 2b Abschnitt 2.4] und orientiert sich an der Methode des FAO-Berichts zur Bewässerung [3]. Die Darstellung der Wasserflüsse im System Boden-Pflanze-Atmosphäre, die von Klima, Kultur und Boden beeinflusst werden, basiert auf den Konzepten der Verdunstung (Evapotranspiration) ETo einer Referenz-Kultur und der vertikalen Wasserbilanz nach dem Bucket-Ansatz in einer angenommen homogenen grundwasserfernen Bodenschicht (Wurzelbereich).

Die angepasste, sog. aktuelle Evapotranspiration ETa wurde ausgehend von der täglichen ETo für die gewählte Station und Anbau-„Situation“ berechnet, wobei die spezifischen Bedürfnisse der Kultur (über den Verlauf des Kulturkoeffizienten für Hauptentwicklungsstadien) und die variierende Bodenwasserverfügbarkeit im Wurzelbereich (über den Trockenstresskoeffizienten) berücksichtigt wurden. Für die einzelnen Kulturen wurden typische Saat- und Erntezeitpunkte festgelegt und die wichtigen Kenngrössen wie Durchwurzelungstiefe und spezifische Toleranz der Kultur gegenüber Bodenwasserdefiziten aus der Literatur verwendet, wobei das Wasserdefizit von der nutzbaren Feldkapazität (nFK) der einzelnen Böden und der täglichen Bodenwasserbilanz abhängt (Niederschläge, ETa und andere Wasserverluste inkl.).

Fällt die ETa unter 80% ihres Kultur-spezifischen potentiellen Niveaus, so wird die minimale Bodenspezifische Menge Wasser berechnet, die zusätzlich zu den Niederschlägen gebracht wird, um das potentielle Niveau wieder herzustellen. Die so berechneten täglichen Werte für den Bewässerungsbedarf wurden monatlich aggregiert.

## 2.4 Tabellen und Lesehilfe

Pro Station werden bis zu 20 Tabellen zu Verfügung gestellt (je eine pro Kultur und Durchwurzelungstiefe), welche die berechneten Daten des Bewässerungsbedarfs (für alle Kombinationen aus Boden und Klimaszenarien in 12 Zeilen) und für die Monate von März bis Oktober sowie die Jahressumme (9 Spalten) zusammenfassen. Der Bewässerungsbedarf wird in mm (= l/m<sup>2</sup> oder 10 m<sup>3</sup>/ha), gerundet auf 5 mm, angegeben. Die Tabellen für alle Stationen sind in einer separaten Beilage, zusammen mit einer Zusammenfassung des Klimas jeder Station zusammengestellt.

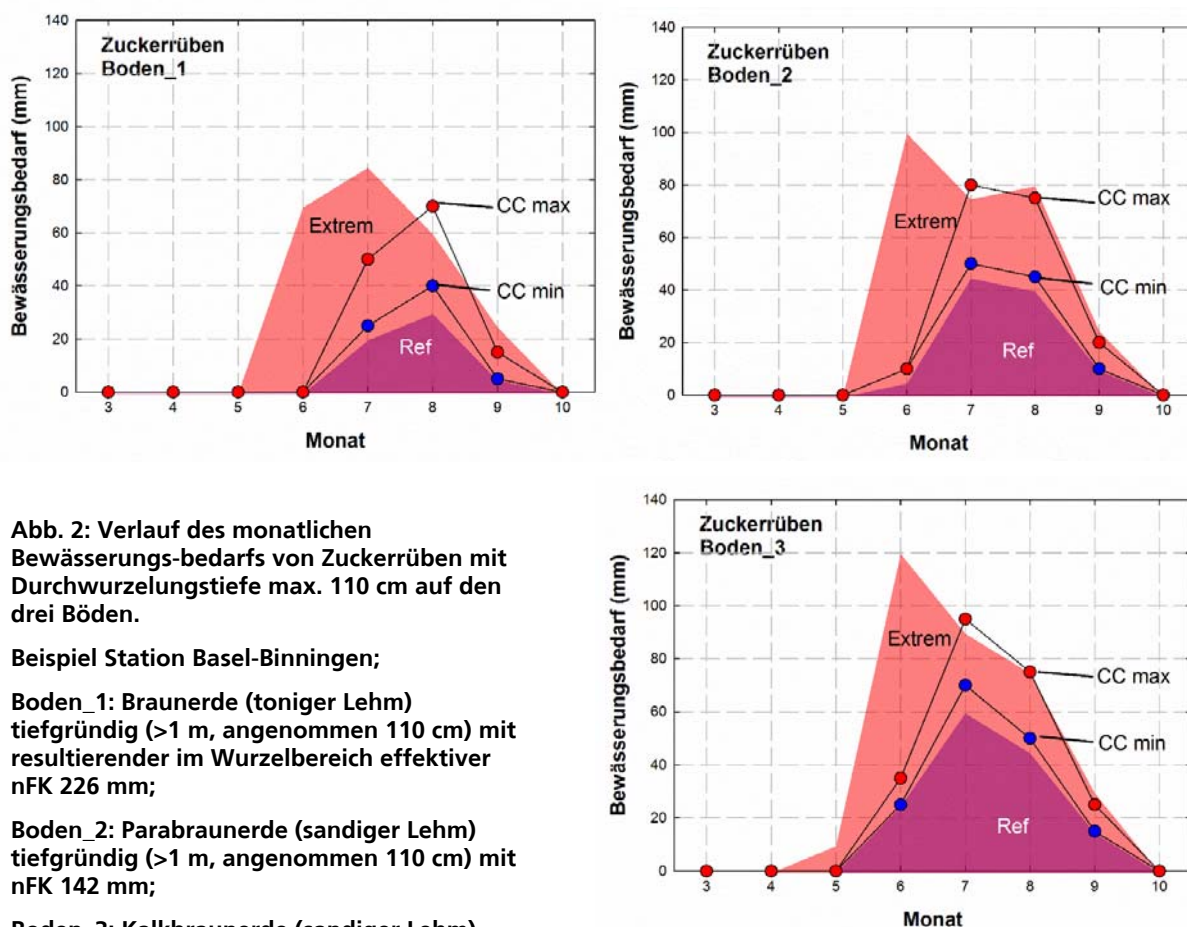
**Tab. 4: Beispiel Bewässerungsbedarf-Tabelle (Bewässerungsbedarf in mm) für Zuckerrüben (mit Durchwurzelungstiefe max. 110 cm) aufgrund der Klimadaten der Station Basel-Binningen. Boden 1: Braunerde tiefgründig; Boden 2: Parabraunerde tiefgründig; Boden 3: Kalkbraunerde mässig tiefgründig (für mehr Details siehe Abb. 2).**

Boden	Klima	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Total
1	Ref	0	0	0	0	20	30	5	0	55
1	CC min	0	0	0	0	25	40	5	0	70
1	CC max	0	0	0	0	50	70	15	0	135
1	Extrem	0	0	0	70	85	60	25	0	235
2	Ref	0	0	0	5	45	40	10	0	100
2	CC min	0	0	0	10	50	45	10	0	115
2	CC max	0	0	0	10	80	75	20	0	185
2	Extrem	0	0	0	100	75	80	25	0	275
3	Ref	0	0	0	25	60	45	15	0	145
3	CC min	0	0	0	25	70	50	15	0	160
3	CC max	0	0	0	35	95	75	25	0	225
3	Extrem	0	0	10	120	90	75	30	0	325

### 3 Hochrechnung des Bewässerungsbedarfs auf den Bilanzierungsraum

#### 3.1 Darstellungsbeispiel

In der folgenden Abbildung ist der Verlauf des monatlichen Bewässerungsbedarfs am Beispiel Zuckerrüben für die Station Basel-Binningen (in der Region 1 'Östlicher Jura') dargestellt (Daten gemäss Tab. 4). Dabei kann der saisonale Verlauf des monatlichen Bewässerungsbedarfs zwischen den verschiedenen Klimaszenarien verglichen sowie die Auswirkung verschiedener Böden dargestellt werden.



**Abb. 2:** Verlauf des monatlichen Bewässerungsbedarfs von Zuckerrüben mit Durchwurzelungstiefe max. 110 cm auf den drei Böden.

**Beispiel Station Basel-Binningen;**

**Boden\_1:** Braunerde (toniger Lehm) tiefgründig (>1 m, angenommen 110 cm) mit resultierender im Wurzelbereich effektiver nFK 226 mm;

**Boden\_2:** Parabraunerde (sandiger Lehm) tiefgründig (>1 m, angenommen 110 cm) mit nFK 142 mm;

**Boden\_3:** Kalkbraunerde (sandiger Lehm) mässig tiefgründig (50-70 cm, angenommen 60 cm) mit nFK 77 mm.

#### 3.2 Hochrechnungsbeispiel

Für die praktische Umsetzung der beigelegten Tabellen für eine oder mehrere ausgewählte Station(en) können die tabellarischen Angaben für den monatlichen Bewässerungsbedarf in mm mit statistischen Angaben zu Landnutzung und Boden in den repräsentierten Regionen kombiniert (d.h. mit den betroffenen Flächen multipliziert und räumlich aggregiert) werden. Der kultur- und bodenspezifische Bewässerungsbedarf pro Flächeneinheit (z.B. Hektare, ha) und Monat (oder Saison) unter einem bestimmten Klimaszenario kann so für einen ausgewählten Raum mit vielfältigen Anbaubedingungen hochgerechnet werden.

Bei der Hochrechnung muss der Bewässerungsbedarf aufgrund der bei der Vereinfachung getroffenen Annahmen je nach vorliegenden Gegebenheiten korrigiert werden. Die vorliegenden Zahlen gehen von einer Bewässerungseffizienz von 100% aus, d.h. dass keine System- und Verdunstungsverluste auftreten (z.B. auf 70% Effizienz für Beregnungsanlagen korrigieren).

Kultur: A (mit Beregnungsanlage)

Anbaufläche auf Boden\_1: b1 (ha)

Anbaufläche auf Boden\_2: b2 (ha)

Bewässerungsbedarf W (mm) pro Monat m wird für Boden\_1 bzw. Boden\_2 aus der Tabelle für Kultur A gelesen

Beispiel-Berechnung des korrigierten Bewässerungsbedarfs über die ausgewählten Monate m1-mx für das Referenzklima der Station Basel-Binningen:  $W_{BAS,Ref,A}$

$$W_{BAS,Ref,A} = [(W_{m1,b1} + \dots W_{mx,b1}) \times b1 + (W_{m1,b2} + \dots W_{mx,b2}) \times b2] / 0.7 / 10 \quad (m^3)$$

Ähnliche Berechnung für Kultur B

$$W_{BAS,Ref} = W_{BAS,Ref,A} + W_{BAS,Ref,B}$$

Ähnliche Berechnung für andere Stationen, z.B: Chaumont

$$W_{Ref} = W_{BAS,Ref} + W_{CHM,Ref}$$

$W_{Ref}$  liefert am Ende den Bewässerungsbedarf ( $m^3$ ) über ausgewählte Monate. In diesem Beispiel für das Referenzklima und für den Raum Jura, wo die Kulturen A und B je auf den Böden 1 und 2 im westlichen und östlichen Teil angebaut werden und die Anbauflächen der verschiedenen Kombinationen bekannt sind.

Mit der Verwendung des Extremszenarios wird ein sehr hoher Wasserbedarf berechnet. Es wird davon abgeraten, die Bewässerungsplanung auf dieses Extremszenario auszurichten, viel mehr zeigt es eine potentielle Ausnahmesituation für das künftige Klima auf.

Unsicherheiten (bez. Repräsentativität der Stationen, Kultursorten, Bodenheterogenität, statistischen Daten usw., zusätzlich zu den Unsicherheiten der Modellparameter und Klimaprojektionen) können bei einer Anwendung der vereinfacht dargestellten Modellierungsergebnisse durch zusammenfassende Tabellen leider nicht vermieden werden.



## 4 Referenzen

- [j.1] C2SM; MeteoSwiss; ETH; NCCR Climate; OcCC (2011): *Swiss Climate Change Scenarios CH2011*, Zürich. 88 S.
- [5.3] Smith, P.C. ; Calanca, P. ; Fuhrer, J. (2012): *A simple scheme for modeling irrigation water requirements at the regional scale applied to an alpine river catchment*. Water, 4, S. 869-886.
- [j.2] Smith P.C., Heinrich G., Suklitsch M., Gobiet A., Stoffel M., Fuhrer J. (2014): *Station-scale bias correction and uncertainty analysis for the estimation of irrigation water requirements in the Swiss Rhone catchment under climate change*. Climatic Change, DOI 10.1007/s10584-014-1263-4.
- [j.3] Allen, R.G. ; Pereira, L.S. ; Raes, D. ; Smith, M. (1998): *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements*: FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rom. 300 S.
- [j.4] Fuhrer, J.; Smith, P.C. (2015): *Grundlagen für die Abschätzung des Bewässerungsbedarfs im Kanton Basel-Landschaft*: Agroscope im Auftrag des Kantons Basel-Landschaft, 28 S.

