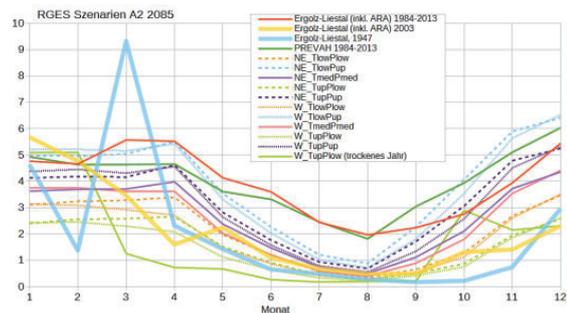


# Gesamtsynthese

## Handlungsempfehlungen zur Nutzung von Fließgewässern unter veränderten klimatischen Bedingungen - Massnahmen in der Landwirtschaft, bei der Brauchwassernutzung und der Fischerei



Birs in Laufen (oben links), prognostizierte Abflüsse der Ergolz (oben rechts), landwirtschaftliche Bewässerung (unten links), Vermessung einer Forelle (unten rechts)

Bericht 16 / 221

Reinach, November 2016

Auftraggeber:  
Amt für Umweltschutz und Energie, Kanton Basel - Landschaft  
Projektförderung:  
Bundesamt für Umwelt BAFU

**BASEL  
LANDSCHAFT**



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung.....</b>	<b>2</b>
<b>2 Verwendete Daten und Unterlagen.....</b>	<b>3</b>
<b>3 Grundlagenstudien.....</b>	<b>4</b>
3.1 Einleitung.....	4
3.2 Wasserhaushalt und Wassertemperatur.....	4
3.3 Landwirtschaftliche Bewässerung.....	10
3.4 Fischfauna, Fischbewirtschaftung.....	13
<b>4 Synthese.....</b>	<b>16</b>
4.1 Gewässerbewirtschaftung, Wasserversorgung.....	16
4.2 Auswirkungen auf die Landwirtschaft.....	18
4.3 Auswirkungen auf die Fischfauna.....	20
<b>5 Handlungsempfehlungen.....</b>	<b>22</b>
5.1 Empfehlungen zum Wasserhaushalt in den Gewässern.....	22
5.2 Empfehlungen für die Landwirtschaft.....	22
5.3 Empfehlungen zur fischereilichen Bewirtschaftung.....	23
5.4 Empfehlungen zum Monitoring.....	23

# 1 Einleitung

Durch den Klimawandel besteht im Kanton Basel – Landschaft die Gefahr von verringerten Niederschlägen, zunehmenden Lufttemperaturen und zunehmender Verdunstung im Sommer. Dadurch kann es zu einer verringerten Wasserführung in den Fliessgewässern und zu erhöhten Wassertemperaturen kommen. Gleichzeitig könnte der Wasserbedarf in der Landwirtschaft für Bewässerung und durch sonstige Brauchwassernutzungen zunehmen. Die veränderte Situation wirkt sich auch auf die Gewässerfauna, insbesondere die Fischfauna aus. Als Grundlage für konkrete Handlungsempfehlungen und Umsetzungsmassnahmen in der Landwirtschaft und für die Bewilligungspraxis der Behörden zum Umgang mit dem veränderten Wasserangebot wurden in Teilprojekten verschiedene Grundlagenstudien zum Wasserhaushalt, zur Bewässerung und zur Fischfauna durchgeführt.

In Scherrer AG (2016) wurde eine Wasserbilanz für den Ist-Zustand für die Baselbieter Gewässer erstellt und eine Einschätzung vorgenommen, welche Baselbieter Oberflächengewässer im Ist- Zustand empfindlich, welche weniger empfindlich und welche robust bezüglich Trockenheit und Brauchwasserentnahmen sind. Mit einem Wasserhaushaltsmodell wurden die Auswirkungen verschiedener Klimaszenarien auf den Wasserhaushalt und das zukünftige Wasserangebot berechnet. Ausgehend von den Klimaänderungsszenarien wurden zukünftige Wassertemperaturen abgeschätzt.

In Agroscope (2015 und 2016) wurde der Bewässerungsbedarf und die Wirtschaftlichkeit der Bewässerung verschiedener Kulturen im Kanton Basel-Landschaft abgeschätzt - unter Berücksichtigung verschiedener Klimaszenarien.

Eine Übersicht über den Ist-Zustand der Fischfauna der Baselbieter Gewässer gibt AUE & VJFW BL (2015). Berli et al. (2014 und 2015) und Vonlanthen & Salzburg (2011) untersuchten die genetische Populationsstruktur der Bachforellen in der Birs und der Ergolz. In WFN (2015) wurden die Grundlagen zur ökologischen und fischereibiologischen Situation der Fliessgewässer im Kanton Basel-Landschaft zusammengestellt und Grundsätze zur Bewirtschaftung für die Periode 2016 – 2023 ausgearbeitet. In Zopfi (2016) werden Schlussfolgerungen aus den Grundlagen-Studien für die zukünftige Fischbewirtschaftung gezogen.

Die drei Themenbereiche Wasserhaushalt, Bewässerung und Fischfauna wurden zunächst getrennt betrachtet. Im Folgenden werden die Grundlagen-Studien zu den einzelnen Themenbereichen zusammengefasst (Kap. 3). In einer Gesamtsynthese werden die Themenbereiche zusammengeführt und die Konsequenzen der Ergebnisse aufgezeigt (Kap.4). Schliesslich werden konkrete Handlungsempfehlungen aufgelistet, die in einem Workshop mit den verantwortlichen der Teilprojekte herausgearbeitet wurden (Kap. 5).

## 2 Verwendete Daten und Unterlagen

- Agroscope (2015): Grundlagen für die Abschätzung des Bewässerungsbedarfs im Kanton Basel-Landschaft. Autoren: Fuhrer, J.; Smith, P.
- Agroscope (2016): Wirtschaftlichkeit der Bewässerung ausgewählter Kulturen im Kanton Basel-Landschaft. Autoren: Zorn, A.; Lips, M.
- AUE & VJFW BL (2015): Übersicht über den Zustand der Fischfauna der Baselbieter Gewässer 2002-2007 und 2013/2014.
- Berli, B.; Kläfiger, Y.; Salzburger, W. (2014): Genetische Populationsstruktur der Bachforellen (*Salmo trutta*) im oberen Teil der Birs zwischen dem Delsberger Becken (JU) und Aesch (BL). Universität Basel, Zoologisches Institut.
- Berli, B.; Kläfiger, Y.; Salzburger, W. (2015): Genetische Zusatzanalyse anhand mitochondrieller Bachforellen-DNA im oberen Teil der Birs, zwischen Aesch und Delsberger Becken, sowie der Ergolz und ihren Zuflüssen. Universität Basel, Zoologisches Institut.
- CH2011 (2011): Swiss Climate Change Scenarios CH2011, published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88 pp. ISBN: 978-3-033-03065-7.
- Huet, M. (1949): Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courants. Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie 11: 333–351.
- Mosimann, T. (2015): Erd-reich. Eine Reise durch die Böden des Kantons Basel-Landschaft und seiner Nachbargebiete.
- Scherrer AG (2016): Auswirkungen veränderter klimatischer Bedingungen auf Fließgewässer im Kanton Basel – Landschaft. Bericht 14/194. Auftraggeber: Amt für Umweltschutz und Energie, Kanton Basel – Landschaft.
- Viviroli, D., Zappa, M., Gurtz, J. and Weingartner, R., 2009. An introduction to the hydrological modelling system PREVAH and its pre- and post-processing-tools. Environmental Modelling & Software, 24(10): 1209-1222.
- Vonlanthen, P.; Salzburger, W. (2011): Populationsgenetische Untersuchung der Äschen in der Birs. Bericht im Auftrag des kantonalen Fischereiverband Baselland (KFVBL).
- Wahli, T.; Zopfi, D. (2016): Vergleich der Empfänglichkeit von Lachs (*Salmo salar*), Äsche (*Thymallus thymallus*) und Bachforelle (*Salmo trutta fario*) für *Tetracapsuloides bryosalmonae*, dem Erreger der Proliferativen Nierenkrankheit.
- WFN (Wasser, Fisch, Natur AG) (2015): Fischereiliche Bewirtschaftung der Fließgewässer im Kanton Basel-Landschaft. Einschätzung der Gewässer für die Pachtperiode 2016 – 2023.
- WSL (2012): Schlussbericht CC-Hydro Natürlicher Wasserhaushalt der Schweiz und ihrer bedeutendsten Grossgebiete.
- Zopfi, D. (2016): Bewertungsgrundlagen für die Einschätzung der Fischgewässer im Kanton Basel-Landschaft ab 2016.

## 3 Grundlagenstudien

### 3.1 Einleitung

Als Grundlage für konkrete Handlungsempfehlungen und Umsetzungsmassnahmen in der Landwirtschaft und für die Bewilligungspraxis der Behörden zum Umgang mit den Veränderungen durch den Klimawandel wurden Grundlagen - Studien zu drei verschiedenen Themenbereichen durchgeführt:

- Wasserhaushalt, Wassertemperatur
- Bewässerung in der Landwirtschaft
- Fischfauna, Fischbewirtschaftung

Im Folgenden werden diese Grundlagenstudien zusammengefasst und die wichtigsten Ergebnisse aufgeführt.

### 3.2 Wasserhaushalt und Wassertemperatur

In Scherrer AG (2016) wurde das Wasserdargebot der Baselbieter Oberflächengewässer für den Ist-Zustand analysiert und die künftig zu erwartenden Veränderungen des Wasser- und Temperaturhaushalts untersucht. Abbildung 3.1 zeigt einen Überblick über die 29 untersuchten Einzugsgebiete (EZG) und Pegelmessstationen.

Die Gebietsmittel des Niederschlags (Periode 1984 –2013) liegen zwischen 1034 mm/a und 1224 mm/a. Die Werte der Evapotranspiration variierten zwischen 476 mm/a (2003) und 608 mm/a (2012). Die Auswertung der Abflüsse an 26 Pegelstationen ergaben Jahressummen zwischen 289 mm/a und 666 mm/a (Abb. 3.2). Die Abflussregimes zeigen in allen untersuchten EZG einen relativ ausgeglichenen Jahreslauf mit dem Maximum der monatlichen Abflusssummen in den Wintermonaten und einem Minimum zwischen Juli und Oktober. Die Abflussregimes sind v.a. durch Regen geprägt und nur wenig durch Schneeschmelze beeinflusst und können daher nach der Einteilung von Pardé (1933) als „pluvial jurassien“ bezeichnet werden.

Aus der Analyse von Niedrigwasserperioden zeigte sich, dass viele Baselbieter Flüsse und Bäche im heutigen Ist-Zustand empfindlich in Hinblick auf Trockenwetterphasen sind (Tab. 3.1). Einige wenige Gewässer wie z.B. Ergolz-Liestal sind aufgrund des grösseren Einzugsgebietes und der damit verbundenen erhöhten Wasserführung etwas weniger empfindlich. Als robust kann nur die Birs eingestuft werden. Viele Gewässer entwässern rasch bis sehr rasch und zeigen ein extremes Leerlaufverhalten bis hin zu sehr niedrigen Abflüssen und teilweise sogar bis zum Trockenfallen. In Trockenperioden besteht teilweise ein Wasserdefizit in den Baselbieter Gewässern das über Wochen andauern kann. Ein Wasserdefizit bedeutet, dass die Dotierwassermenge unterschritten wird und keine Wasserentnahme möglich ist.

Die Situation wird dadurch verschärft, dass die Überprüfung der Abflussmessstationen im Hinblick auf ihre Messgenauigkeit ergeben hat, dass lediglich zwei BAFU-Stationen qualitativ gute Messungen im Niedrigwasserbereich aufweisen. Viele kantonale Stationen weisen im Niedrigwasserbereich ungenügende Genauigkeit auf und zeigen zu hohe Abflüsse. Dies aufgrund von Ablagerungen oder Auflandungen im Messprofil.

Die Quellschüttungen haben einen starken Einfluss insbesondere auf den Abfluss der kleinen Oberflächengewässer, wie eine Quellschüttungsmesskampagne im Jahr 2015 zeigte. Wasserentnahmen in Trockenperioden aus bisher ungefassten Quellen sind daher als problematisch einzustufen. In Trockenperioden sinken auch die Grundwasserstände deutlich und nachhaltig ab. Im Vergleich zur Aquifermächtigkeit fallen jedoch die Absenkungen relativ klein aus. Ob zusätzliche Grundwasserentnahmen möglich sind, muss dennoch sorgfältig geprüft werden, da viele Aquifere bereits heute sehr stark genutzt werden und das Speichervolumen in kleinen Aquiferen einmal pro Jahr umgesetzt wird.

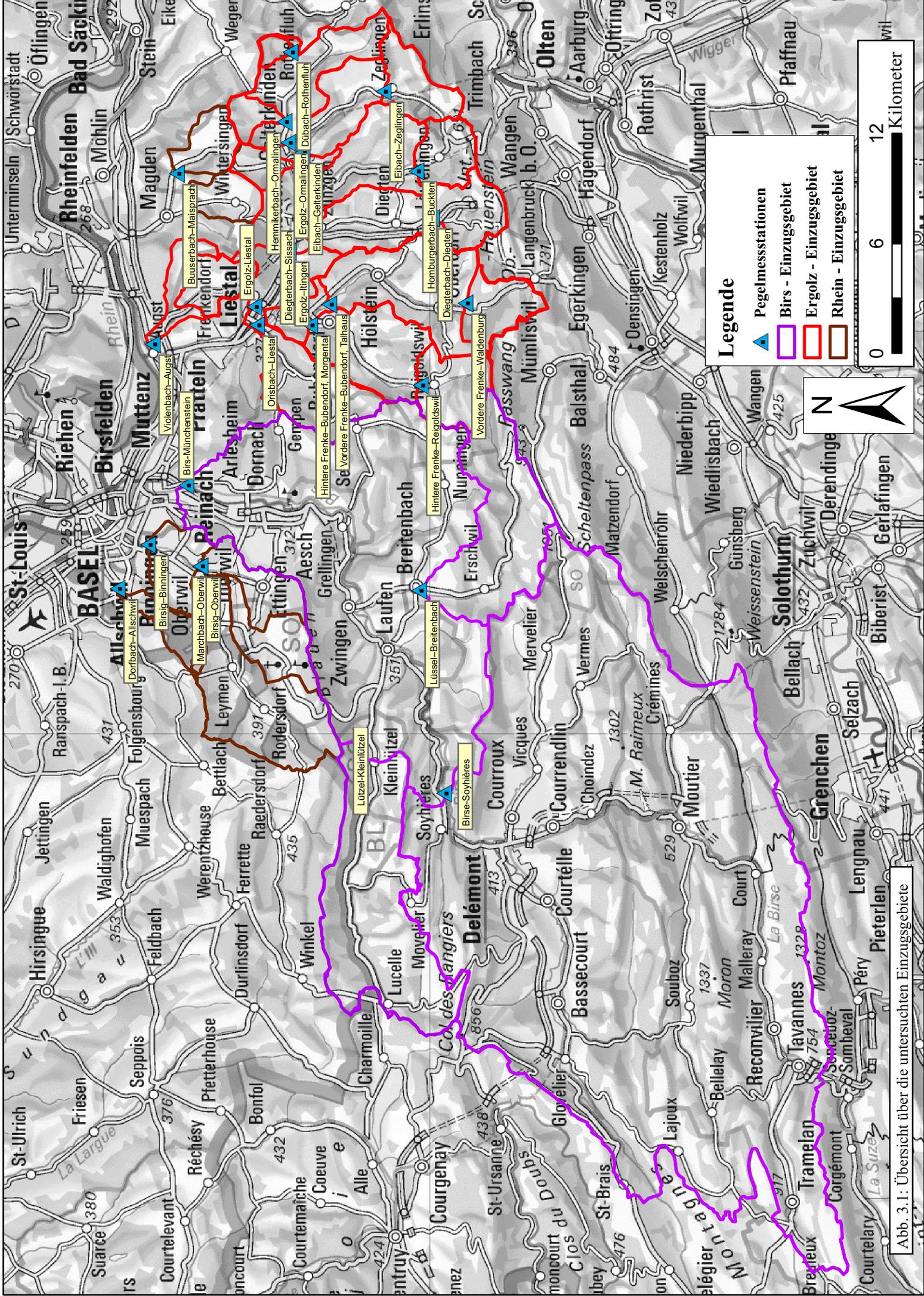


Abb. 3.1: Übersicht über die untersuchten Einzugsgebiete

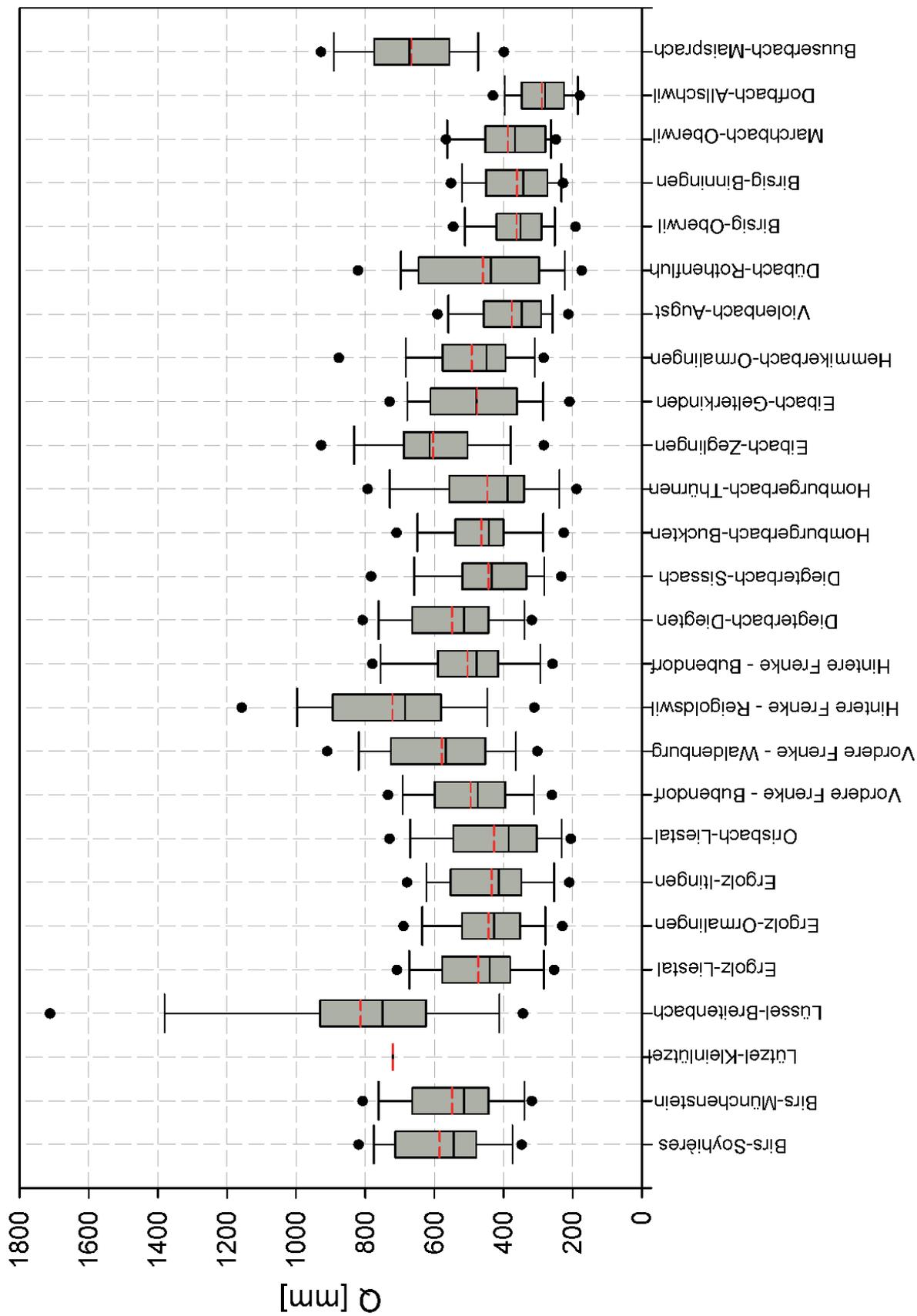


Abb. 3.2: Jahresabflusssummen der untersuchten Einzugsgebiete. Die boxplots zeigen die zeitliche Variation der Abfluss-Jahressummen in der Periode 1984 - 2013. Die Box entspricht dem Bereich, in dem die mittleren 50% der Daten liegen, sie wird also durch das obere Quartil (=0.75-Quantil) und das untere Quartil (=0.25-Quantil) begrenzt. Die Antennen ("Whiskers") begrenzen den Bereich zwischen dem 0.9-Quantil und dem 0.1-Quantil, die Punkte zeigen das 0.95- bzw. das 0.05-Quantil. Der Median ist als schwarze Linie, das arithmetische Mittel als rot-gestrichelte Linie dargestellt.

Mit dem Wasserhaushaltsmodell PREVAH (Viviroli et al., 2009; WSL, 2012) wurden die wahrscheinlich zu erwartenden Auswirkungen von Klimaänderungen auf den Wasserhaushalt für die Ergolz und ihre Seitenbäche abgeschätzt. Dabei wurde auf die Zukunftsszenarien des „Swiss Climate Change Report CH2011“ mit prognostizierten Temperatur- und Niederschlagsänderungen zurückgegriffen. Diese beruhen auf den drei verschiedenen Emissionsszenarien A2 (pessimistisches Szenario), A1B (mittleres Szenario) und RCP3PD (optimistisches Szenario). Es wurde der Zeithorizont 2085 (2070-2099) betrachtet. Grundlage war der Gebietsniederschlag (Ergolz-EZG) der Periode 1984-2013. Für die Modellrechnungen wurden jeweils 9 Szenarienkombinationen ausgewertet: für jedes Emissionsszenario jeweils ein kühl-trockenes, ein mittleres und ein extremes Szenario.

Die Auswirkungen der verschiedenen Klimaänderungsszenarien auf den Wasserhaushalt sind sehr stark unterschiedlich. Z.B. nimmt der mittlere Abfluss in der Ergolz bei Liestal je nach Klimaänderungsszenario um 18% bis zu 64% ab. Schon bei gemässigten Klimaänderungsszenarien nehmen die Abflüsse in den Sommermonaten und die Niedrigwasserabflüsse ( $Q_{347}$ ) deutlich ab<sup>1</sup>. Die Dauer des Wasserdefizits, d.h. Tage an denen kein Wasser entnommen werden kann, nimmt dementsprechend stark zu (Tab 3.1, Abb. 3.2). Während bereits beim mittleren, langjährigen Abflussverhalten deutliche Auswirkungen der Klimaänderung prognostiziert werden, ist dies in einzelnen Trockenjahren besonders stark ausgeprägt.

Die Teileinzugsgebiete der Ergolz sind ähnlich stark von den Folgen der Klimaänderung betroffen wie die Ergolz in Liestal (Tab. 3.1). Die Ergebnisse der Berechnungen für die Ergolz können – eingeschränkt - auf Birs und Birsig übertragen werden. Auch dort muss mit einer zunehmenden Empfindlichkeit bezüglich Trockenwetter gerechnet werden.

Der Grund für die starke Abnahme der Abflüsse ist neben verringerten Niederschlägen insbesondere die erhöhte Verdunstung. Insgesamt zeigten die Modellergebnisse der Klimaänderungsszenarien, dass sich Niedrigwasser-Situationen im Kanton BL in Zukunft verschärfen werden und die Dauer des Wasserdefizits an vielen Gewässern stark zunehmen wird.

Durch die Klimaänderung ist mit erhöhten Lufttemperaturen und verminderter Wasserführung zu rechnen. Dies hat Auswirkungen auf die Wassertemperatur der Fliessgewässer. Der Kanton Baselland misst an 19 Stellen die Wassertemperaturen seit 2009 / 2010. Von der Birs in Münchenstein liegt seit 1972 eine langjährige Messreihe der Wassertemperatur vor. Ausgehend von diesen Messungen der Wassertemperatur und von den Klimaänderungsszenarien wurden zukünftige Wassertemperaturen abgeschätzt.

Für den Zeithorizont 2085 kann in der Birs im Sommer eine Temperaturzunahme erwartet werden von 0.9°C – 5.8°C (wahrscheinlichste Szenarien: 1.6°C – 4.5°C) und von 0.2°C – 2.2°C (0.6°C – 1.6°C) in den Wintermonaten. Die Ergebnisse von Birs – Münchenstein können mit Einschränkungen auf die anderen Gewässer übertragen werden. Bei den Gewässern, die im Vergleich zur Birs einen relativ ausgeglichenen Jahresgang der Wassertemperatur aufweisen, kann angenommen werden, dass auch in Zukunft - auf einem höheren Temperaturniveau - ein relativ ausgeglichener Jahresgang mit gedämpften sommerlichen Wassertemperaturspitzen bestehen bleibt.

---

<sup>1</sup> Der sogenannte  $Q_{347}$  ist der Abfluss, der im Mittel an 347 Tagen im Jahr überschritten wird. Auf der Grundlage des  $Q_{347}$  werden nach dem Gewässerschutzgesetz Rest- bzw. Dotierwassermengen bestimmt.

Tab. 3.1: Einschätzung der Gewässer im Kanton BL bezüglich der Empfindlichkeit auf Trockenheit, sowie  $Q_{347}$  und Dauer des Wasserdefizits im Ist-Zustand verglichen mit dem Bereich der prognostizierten Werte verschiedener Klimaänderungsszenarien

Einzugsgebiet / Stationsname	EZG-Fläche [km <sup>2</sup> ]	Empfindlichkeit auf Trockenheit im Ist – Zustand	Q347 Ist-Zustand Periode 1984 – 2013	Q347 Prognose Periode 2071 – 2099	Dauer jährliches Wasserdefizit Ist – Zustand [d]		Dauer jährliches Wasserdefizit Prognose[d]	
			[l/s]	[l/s]	Mittelwert	Maximum	Mittelwert	Maximum
<b>Ergolz EZG</b>								
Ergolz–Liestal	261	weniger empfindlich	453	68 – 243	3	64	20 – 109	83 – 158
Ergolz–Ormalingen	30	empfindlich	57	4 – 15	21	158	82 – 202	164 – 255
Ergolz–Itingen	141	weniger empfindlich	212	30 – 102	11	95	36 – 139	108 – 206
Orisbach–Liestal	21	empfindlich	35	6 – 19	47	169	90 – 200	167 – 266
Vordere Frenke–Bubendorf, Talhaus	46	empfindlich	128	12 – 49	19	131	91 – 204	161 – 265
Vordere Frenke–Waldenburg	13	empfindlich	48	3 – 16	46	233	192 – 280	251 – 313
Hintere Frenke–Reigoldswil	15	empfindlich	72	5 – 21	27	208	171 – 266	224 – 301
Hintere Frenke–Bubendorf, Morgental	38	empfindlich	92	11 – 43	34	179	87 – 197	151 – 261
Diegterbach–Diegten	13	empfindlich	56	3 – 13	0	0	48 – 161	123 – 229
Diegterbach–Sissach	33	empfindlich	65	8 – 29	8	106	30 – 130	102 – 204
Homburgerbach–Buckten	10	empfindlich	29	2 – 8	42	228	171 – 267	239 – 296
Homburgerbach–Thümen	30	empfindlich	30	5 – 17	26	166	59 – 175	132 – 230
Eibach–Zeglingen	13	empfindlich	56	2 – 7	14	159	159 – 265	227 – 292
Eibach–Gelterkinden	27	empfindlich	60	4 – 13	12	117	69 – 190	148 – 239
Hemmikerbach–Ormalingen	4.8	empfindlich	19	1 – 3	148	322	286 – 331	313 – 344
Rickenbächli	5.0							
Arisdörferbach	9.4							
Violenbach–Augst	17	empfindlich	49		20	158		
Dübach–Rothenfluh	2.7	empfindlich	7	0.2 – 1	282	352	338 – 361	351 – 363
<b>Rhein – EZG</b>								
Birsig–Oberwil	40	weniger empfindlich	84		20	353		
Birsig–Binningen	75	weniger empfindlich	209		4	32		
Marchbach–Oberwil	27	robust	119		1	18		
Dorfbach–Allschwil	11	empfindlich	43		39	212		
Wintersingerbach	8.5							
Buuserbach–Maisprach	11	weniger empfindlich	79		15	144		
<b>Birs - EZG</b>								
Birse–Soyhières, Bois du Treuil	590	robust	2596		0	0		
Birs–Münchenstein, Hofmatt	911	robust	4373		0	0		
Lützel, Kleinlützel	67		419					
Lüssel, Breitenbach	46	empfindlich	47		0	0		

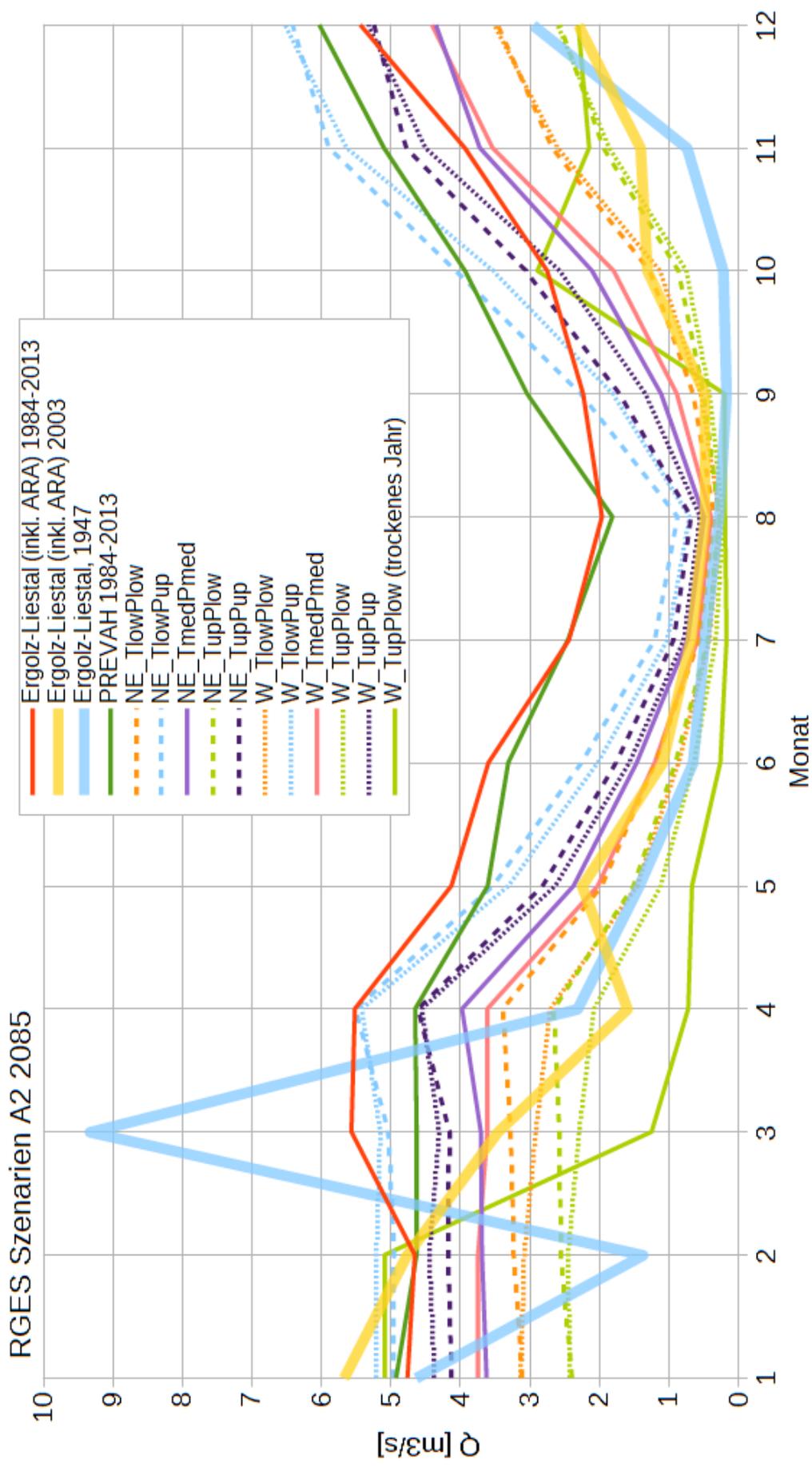


Abb. 3.3: Mittlere monatliche Abflüsse an der Messstelle Ergolz-Liestal: Messwerte, Modellwerte und Klimaänderungsszenarien A2 und Zeithorizont 2085. NE = Region Nordost, W = Region West, T = Temperatur, N = Niederschlag, low = niedrige Werte, med = mittlere Werte, up = hohe Werte

### 3.3 Landwirtschaftliche Bewässerung

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. Deshalb untersuchte Agroscope (2015) den Bewässerungsbedarf für verschiedene landwirtschaftliche Kulturen im Kanton Basel-Landschaft. Folgende Kulturen wurden untersucht: Erdbeeren, Randen, Zwiebeln, Kartoffel, Zuckerrüben, Kirschen, Zwetschgen, Äpfel, Reben, Mais, Weizen, Grünland.

Dabei wurde sowohl der Ist-Zustand als auch drei verschiedene Klimaänderungsszenarien berücksichtigt. Die Klimaszenarien beruhen auf der Wetterstation Basel-Binningen. Als Referenz bzw. Ist-Zustand wurde der Mittelwert der Jahre 1981-2010 verwendet. Aus CH2011 wurden zwei Klimaszenarien für den Zeithorizont 2060 (2045-2074) ausgewählt: Ein mildes Szenario (CCmin) und ein starkes Szenario (CCmax). Zusätzlich wurde ein extremes Szenario aus der Kombination der Jahre 2003 (warm-trockener Sommer) und 2011 (trockenes Frühjahr) verwendet (Extrem). Dazu wurde jeweils der Monat mit der tiefsten Niederschlagssumme gewählt (sog. „4041“-Szenario).<sup>1</sup> Zusätzlich zu den Klimaszenarien wurden drei verschiedene Bodentypen berücksichtigt: Tiefgründige Braunerde (> 100 cm tief), tiefgründige Parabraunerde (> 100 cm tief) und mässig tiefgründige Kalkbraunerde (< 60 cm tief).

Abbildung 3.4 zeigt die Ergebnisse exemplarisch für die Zuckerrübe. Es wird deutlich, dass schon im heutigen Ist-Zustand (Ref) ein substantieller Bewässerungsbedarf in den Sommermonaten besteht, der beim milden Szenario CCmin nur wenig, aber bei den Szenarien CCmax und Extrem stark zunimmt. Beim Extrem-Szenario beginnt zudem der Bewässerungsbedarf schon früher im Jahr. Abbildung 3.4 zeigt auch den starken Einfluss des Bodentyps auf den Bewässerungsbedarf.

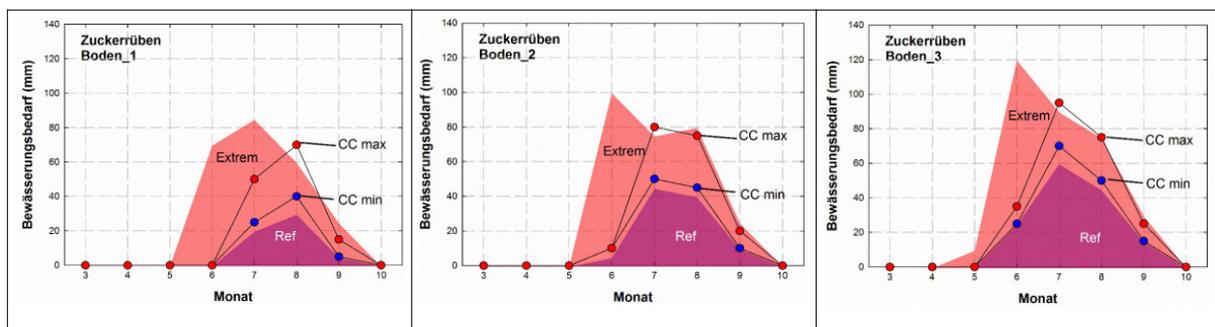


Abb. 3.4: Bewässerungsbedarf von Zuckerrüben bei verschiedenen Klimaszenarien auf verschiedenen Böden (Boden 1: Braunerde > 100 cm tief, Boden 2: Parabraunerde > 100 cm tief, Boden 3: Kalkbraunerde < 60 cm tief)

<sup>1</sup> Die Klimaszenarien in Agroscope (2015) weichen stark ab von denen, die für die Untersuchungen zum Wasserhaushalt und zu den Wassertemperaturen verwendet wurden (Scherrer AG 2016) (siehe Kap. 3.2 und Anhang 1). Die Referenz aus Agroscope (2015) (Basel-Binningen 1981-2010) weicht hinsichtlich des Niederschlags deutlich ab von der Referenz aus Scherrer AG (2016) (Gebietsniederschlag Ergolz-Einzugsgebiet 1984-2013, im Mittel ca. 30% mehr Niederschlag als Station Basel-B.). Die Szenarien CCmin und CCmax aus Agroscope (2015) beziehen sich auf den Zeithorizont 2060 und auf das mittlere Emissionsszenario A1B, während die Szenarien in Scherrer AG (2016) sich auf den Zeithorizont 2085 beziehen und die drei Emissionsszenarien RCP3PD (gemässigt), A1B (mittel) und A2 (extrem) berücksichtigen. Das extreme Szenario „4041“ aus Agroscope (2015) ist eine Kombination der beiden Trockenjahre 2003 und 2011, in Scherrer AG (2016) wurden diese beiden Jahre getrennt betrachtet und auf den Zeithorizont 2085 mit entsprechenden Änderungen der Temperatur und des Niederschlags projiziert.

Tabelle 3.2 zeigt die Bandbreite des Bewässerungsbedarfs im Überblick für die verschiedenen Kulturen und Szenarien. Die Bandbreite ergibt sich durch verschiedene Bodentypen und verschiedene Durchwurzelungstiefen. Besonders grossen Bewässerungsbedarf haben demnach z.B. Zwiebeln, Kartoffel, Zuckerrüben, Winterweizen und Grünland - kleinen Bewässerungsbedarf haben z.B. Kirsche und Rebe.

Tab. 3.2: Bewässerungsbedarf verschiedener Kulturen im Ist-zustand und bei verschiedenen Klimaszenarien. Die Bandbreite zwischen minimalem und maximalem Wert ergibt sich durch verschiedene Bodentypen, Durchwurzelungstiefen und Klimaszenarien (Daten aus Agroscope, 2015).

Kultur	Istzustand		Klimaszenarien	
	Min. [mm]	Max. [mm]	Min. [mm]	Max. [mm]
Erdbeeren	65	140	75	270
Zwiebel	80	155	85	365
Randen frisch	5	55	10	170
Randen Lager	5	65	10	165
Apfel	15	85	20	295
Zwetschge	5	70	10	250
Kirsche	0	10	0	100
Reben	0	5	0	25
Zuckerrübe	55	145	70	325
Kartoffel	110	145	125	315
Körnermais	15	95	20	200
Winterweizen	15	85	20	320
Grünland gemäht	20	115	35	405
Grünland beweidet	5	80	15	350

Neben dem Bewässerungsbedarf wurden verschiedene Bewässerungsverfahren untersucht. Es zeigte sich, dass die Wassereffizienz wie auch der Energieaufwand der verschiedenen Verfahren sehr stark unterschiedlich ist (Tab. 3.3). Im Kanton BL wird v.a. mobile Beregnung verwendet, die eine Wassereffizienz von ca. 60% aufweist.

Tab. 3.3: Wassereffizienz und Energiebedarf verschiedener Bewässerungsverfahren (Agroscope, 2015)

Verfahren	Oberflächenbewässerung	Rohrberegnung	Stationäre Beregnung	Mobile Beregnung	Mikrobewässerung
Wassereffizienz [%]	20 - 40	60 - 70	70 - 80	60	90
Energiebedarf [kWh/(ha*a)]	0	810	609	1000	160

Agroscope (2016) untersuchte die Wirtschaftlichkeit der Bewässerung verschiedener landwirtschaftlicher Kulturen. Dabei wurden die gleichen Szenarien und Grundlagen wie in Agroscope (2015) verwendet. Untersucht wurden Winterweizen, Körnermais, Kunstwiese, Kartoffeln, Kirschen und Erdbeeren. Die Kosten für die Bewässerung wurden den Ertragsausfällen bei Verzicht auf Bewässerung bei den verschiedenen Klimaszenarien gegenübergestellt.

Obwohl die Ertrageinbussen bei den Szenarien „CCmax“ und „Extrem“ hoch sind, ist eine Bewässerung bei den Kulturen Winterweizen, Körnermais und Kunstwiese nicht wirtschaftlich. Bei den anderen untersuchten Kulturen, Kartoffeln, Kirschen und Erdbeeren, ist Bewässerung auch unter verändertem Klima noch wirtschaftlich (Agroscope 2016) (Tab. 3.4).

Tab. 3.4: Ertragsabweichungen in verschiedenen Klimaszenarien falls nicht bewässert wird, im Vergleich zu den zusätzlichen Bewässerungskosten, die aufgebracht werden müssten, um Ertragsabweichungen zu vermeiden. Die Kulturen Erdbeere und Kirsche sind schon in der Referenz, d.h. unter heutigen klimatischen Bedingungen ohne Bewässerung nicht wirtschaftlich. Beeren- und Kirschenanlagen werden deshalb bereits heute mit einem Bewässerungssystem ausgestattet, um wirtschaftlich betrieben werden zu können.

Klimaszenario	Ertrag, Leistungen / Kosten [CHF/ha]							
	Winterweizen	Körnermais	Kunstwiese	Kartoffel	Erdbeere	Kirsche		
Referenz	Ertrag / Leistung	4'915	5'573	4'641	14'134	74'200	58'918	
	Kosten	4'295	4'354	3'882	14'020	82'928	61'579	
CC min	Ertragsabweichung ohne Bewässerung	0	0	-187	-713	-4'050	-3'201	
	zusätzliche Bewässerungskosten	0	0	1'149 - 2'250	2'057 - 2'476	1'904 - 2'141	3'500	
CC max	Ertragsabweichung ohne Bewässerung	-542	-1'709	-935	-2'139	-16'200	-12'804	
	zusätzliche Bewässerungskosten	790 - 1'672	1'229 - 2'112	1'458 - 2'552	-2'342 - 2'762	2'138 - 2'378	4'396	
Extrem	Ertragsabweichung ohne Bewässerung	-1'446	-2'136	-1'496	-5'704	-48'600	-38'412	
	zusätzliche Bewässerungskosten	2'984 - 3'862	1'670 - 2'546	3'862 - 4'949	3'643 - 3'859	3'779 - 4'007	6'054	

### 3.4 Fischfauna, Fischbewirtschaftung

Eine Übersicht über den Ist-Zustand der Fischfauna der Baselbieter Gewässer geben AUE & VJFW BL (2015) und WFN (2015). Dafür wurden in den Jahren 2002 bis 2007, sowie 2013/14 der Zustand der Fischfauna der wichtigsten Gewässer im Kanton Basel-Landschaft an jeweils mehreren Stellen untersucht. Die Gewässerstrecken wurden elektrisch abgefischt. Die Fische wurden bestimmt, vermessen, optisch auf Fehlbildungen untersucht und gewogen. Berli et al. (2014 und 2015) und Vonlathen & Salzburger (2011) untersuchten die populationsgenetische Struktur der Bachforellen und der Äschen in der Birs und der Ergolz. Wahli & Zopfi (2016) untersuchten die Empfänglichkeit verschiedener Fischarten auf die sogenannte Proliferative Nierenkrankheit (PKD).

Die Bestimmung der Fischregionen nach Huet (1949) ergab, dass fast alle untersuchten Strecken zur Bachforellenregion gehören (84% der Gewässerlänge). Nur Birs, Birsig, Marchbach in Oberwil und Ergolz in Augst sind der Äschenregion zuzuordnen (12%). Eingestaute Bereiche der Birs und der Rhein können der Barbenregion zugeordnet werden (4%).

Das Artenspektrum der untersuchten Bäche war an vielen Stellen eingeschränkt. In den Bächen der Forellenregion fehlten v.a. die Begleitarten (Groppe, Schmerle und Elritze). In den Bächen der Äschenregion war die Leitart Äsche selbst sehr schlecht vertreten. Zudem waren auch nicht alle Begleitarten (Strömer, Schneider und Alet) vertreten. Der Populationsaufbau war teilweise nicht vollständig und die Fischdichte wies grosse Unterschiede an den verschiedenen Standorten auf. Abbildung 3.5 zeigt die Dichte der Fischbestände an den untersuchten Gewässerabschnitten.

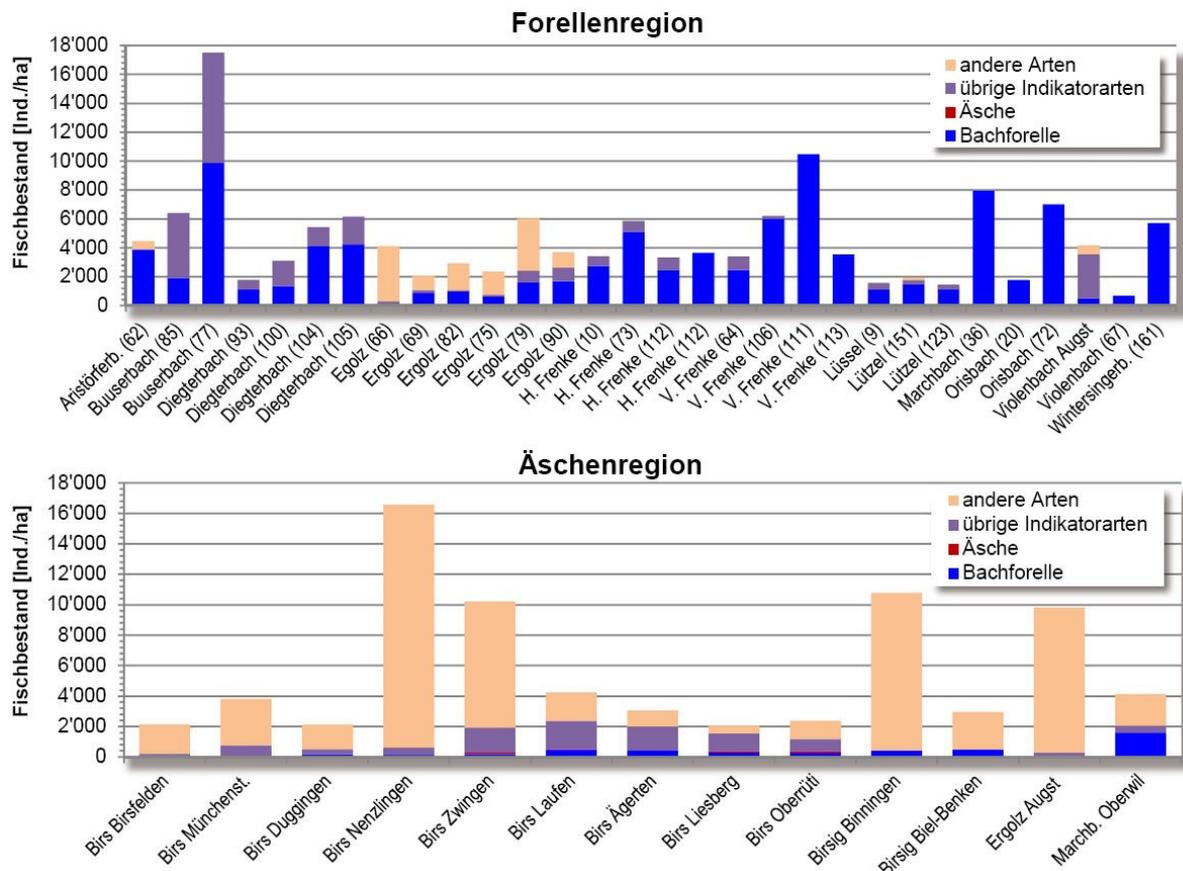


Abb. 3.5: Aus den Abfischungen 2014/14 hochgerechnete Individuenzahlen pro ha Wasserfläche der Fischbestände in den Probestrecken (Amiet, 2014 in WFN, 2015). Indikatorarten sind intolerant gegenüber anthropogenen Gewässereingriffen und können daher als Indikator für den Gesamtzustand eines Gewässers dienen.

Neben der reinen Individuendichte wurde auch die Populationsstruktur der Bachforelle untersucht, d.h. die anteilmässige Verteilung verschiedener Altersklassen. Diese gibt Aufschluss über den Erfolg der natürlichen Fortpflanzung (Naturverlaichung). In ca. 40% der untersuchten Gewässerstrecken zeigte sich eine erfolgreiche natürliche Fortpflanzung der Bachforelle, die ausreicht, um eine langfristig überlebensfähige Population zu erhalten – auch ohne anthropogenen Besatz. Über die Hälfte der untersuchten Strecken wiesen jedoch eine eingeschränkte bis fehlende natürliche Fortpflanzung auf.

Eine ökomorphologische Beurteilung der Gewässerstrecken (WFN, 2015) erlaubte eine flächendeckende und standardisierte Bewertung der Lebensraumbedingungen, die somit Rückschlüsse auf die Lebensraumqualität für die Fischfauna erlaubt. Beinahe 2/3 der im Kanton Basel-Landschaft verlaufenden Fließstrecken wurden ökomorphologisch als naturnah (24%) oder wenig beeinträchtigt (37%) klassiert. Etwas mehr als 1/3 ist stark beeinträchtigt (26%) oder naturfremd (9%) und rund 5% der Fließstrecken sind eingedolt.

Die Gesamtbewertung der Untersuchungen in 2013 – 2014 zeigt auf, dass der ökologische Zustand bezüglich der Fischfauna bei etwas mehr als der Hälfte der untersuchten Gewässerstellen als 'gut' bis 'sehr gut' eingestuft werden kann. Die anderen Stellen wurden als 'mässig' beurteilt, eine Stelle war 'unbefriedigend'. Insgesamt fiel 2013/2014 die Bewertung leicht positiver aus als in der vorangegangenen Untersuchungskampagne 2002-2007. Tabelle 3.5 zeigt die Ergebnisse ausführlich für alle untersuchten Gewässerstrecken.

Wahli & Zopfi (2016) untersuchten die Empfänglichkeit verschiedener Fischarten auf die sogenannte Proliferative Nierenkrankheit (PKD). Sie stellten fest, dass die PKD für die in Gewässern des Schweizer Rheineinzugsgebietes eingesetzten Lachse keine Bedrohung darstellt. Demgegenüber erwiesen sich Äschen für die PKD empfänglich, aber in einem deutlich geringeren Mass als Bachforellen. Die Wassertemperatur spielt eine entscheidende Rolle für den Krankheitsverlauf und die Mortalität. Bei Regenbogenforellen kommt es ab einer Temperaturschwelle von 15°C zu vermehrten Abgängen, bei 18°C können bis zu 85% der Tiere an der Infektion sterben. Tiefere Temperaturen verhindern zwar nicht die Infektion, aber der Krankheitsverlauf ist deutlich verlangsamt, was höhere Überlebenschancen erlaubt.

Tab. 3.5: Zusammenfassung des fischökologischen Zustands in den untersuchten Gewässerstrecken und Vergleich des Zustands 2002-07 und 2013-14 (AUE & VJFW BL (2015))

Bach	Untersuchungsstrecke	Gesamtbeurteilung 2002 - 2007	Gesamtbeurteilung 2013 - 2014
Arisdörferbach	oberh. Giebenach	sehr gut	gut
Birs	in Birsfelden	mässig	mässig
	Münchenstein	mässig	mässig
	Dugingen	mässig	mässig
	Nenzlingen	mässig	mässig
	Zwingen	mässig	mässig
	in Laufen	mässig	gut
	oberh. Laufen, Aegerten	mässig	gut
	oberh. ARA Liesberg	mässig	mässig
Oberrüti	mässig	mässig	
Birsig	in Binningen	unbefriedigend	mässig
	oberh. Biel-Benken	mässig	unbefriedigend

Tab. 3.5 (Forts.): Zusammenfassung des fischökologischen Zustands in den untersuchten Gewässerstrecken und Vergleich des Zustands 2002-07 und 2013-14 (AUE &amp; VJFW BL (2015))

Bach	Untersuchungsstrecke	Gesamtbeurteilung 2002 - 2007	Gesamtbeurteilung 2013 - 2014
Buuserbach	unterh. Maisprach	sehr gut	gut
	in Buus	gut	gut
Diegterbach	in Sissach	mässig	gut
	oberh. Zunzgen	mässig	gut
	in Diegten	gut	gut
	unterh. Eptingen	gut	gut
Ergolz	in Augst	mässig	mässig
	unterh. ARA E2	mässig	mässig
	Liestal, Heidenloch	mässig	mässig
	Itingen, unterh. ARA E1	gut	mässig
	unterh. Böckten	mässig	mässig
	Gelterkinden Postgarage	mässig	gut
	oberh. Sagi Rothenfluh	gut	gut
Vordere Frenke	Station Lampenberg	mässig	mässig
	unterh. ARA Frenke 2	mässig	gut
	Oberdorf	gut	sehr gut
	oberh. Waldenburg	unbefriedigend	gut
Hintere Frenke	Bubendorf Beuggen	gut	mässig
	Ziefen	mässig	sehr gut
	unterh. Reigoldswil	mässig	mässig
	unterh. Wasserfallen	gut	sehr gut
Lüssel	unterh. Brislach	gut	gut
Lützel	oberh. Laufen	gut	gut
Marchbach	bei Röschenz	mässig	gut
	in Oberwil	mässig	gut
	oberh. Therwil	gut	mässig
Orisbach	Liestal, Firma Lüdin	mässig	mässig
	unterh. Orismühle	gut	gut
Violenbach	Augst	mässig	gut
	oberh. Giebenach	gut	mässig
Wintersingerbach	unterh. Wintersingen	sehr gut	gut

## 4 Synthese

Die klimatisch bedingten Veränderungen im Wasserhaushalt haben direkte Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Bewässerung und die Fischfauna. In diesem Kapitel wird die Interaktion der drei Themenbereiche gesamthaft betrachtet.

### 4.1 Gewässerbewirtschaftung, Wasserversorgung

Viele Gewässer sind bereits heute empfindlich bezüglich Trockenheit und weisen im Sommer teilweise über längere Zeitabschnitte sehr niedrige Abflüsse auf. Diese Situation wird sich voraussichtlich mit dem Klimawandel verschärfen. In trockenen Jahren wie z.B. 2003 oder 2011 sind an vielen kleineren Gewässern Wasserüberschüsse nur in den Wintermonaten, bzw. in den Sommermonaten nur kurzzeitig während Hochwasser zu erwarten (Abb. 4.1). Ganzjährige Wasserüberschüsse sind nur an den wenigen Gewässern zu erwarten, die robuster bezüglich Trockenheit sind, d.h. v.a. die Unterläufe der grösseren Gewässer Ergolz und Birs (Kap. 3.1). Gewässerbewirtschaftung und Wasserversorgung sollten deshalb darauf ausgelegt sein, mit Niedrigwassersituationen umgehen zu können und diese nicht noch zu verschärfen.

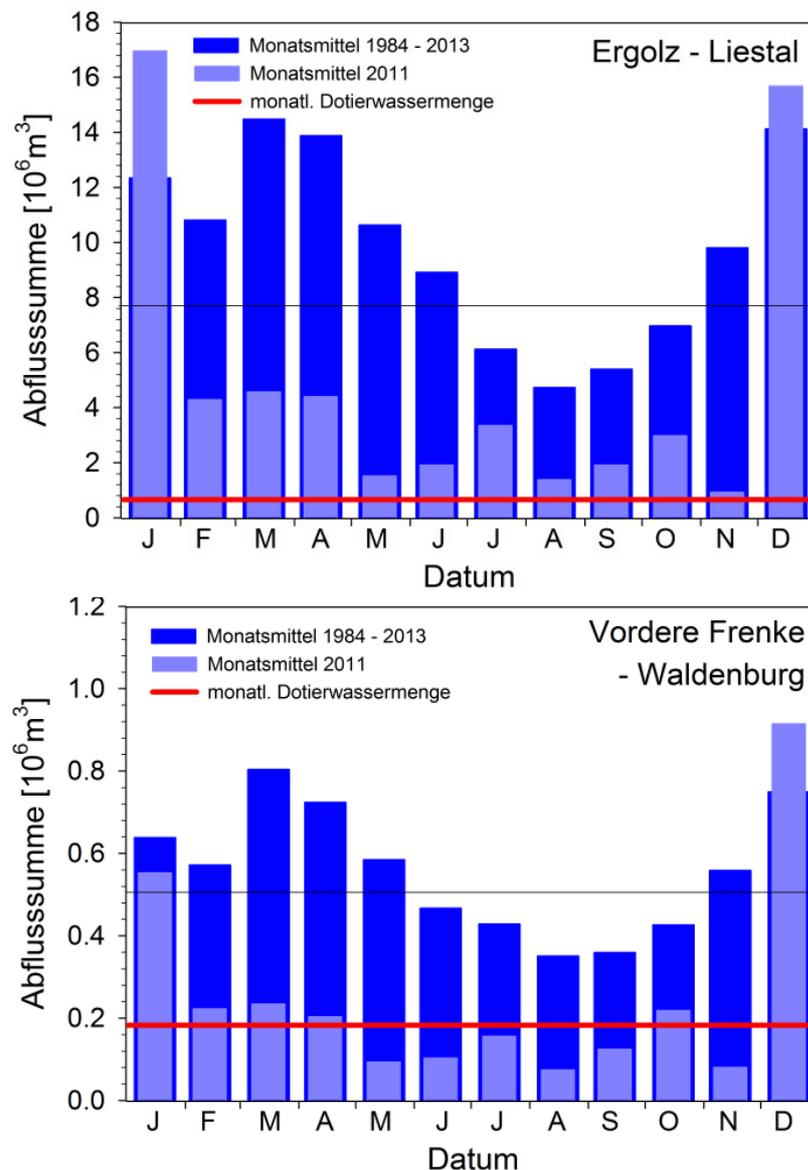


Abb. 4.1: Monatssummen der Abflussvolumen an Ergolz und Hemmikerbach, gemittelt über die Periode 1984-2013 (dunkelblau) und für das Trockenjahr 2011 (hellviolett). Zusätzlich ist Monatssumme der Dotierwassermenge dargestellt (rote Linie).

In den Fliessgewässern sollte soviel Wasser wie möglich verbleiben. Lokal genutztes Quell- und Grundwasser sollte deshalb möglichst lokal gereinigt und in die Fliessgewässer zurückgeleitet werden. Eine Zentralisierung der Abwasserreinigung in den Unterläufen der Täler führt zu einer Ableitung von lokalem Grundwasser, das in der Folge in der Wasserführung der kleineren Fliessgewässer fehlt. Bereits heute beträgt der Abwasseranteil im Unterlauf der Ergolz bei Trockenwetter mehr als 40%. Der grösste Teil dieses Abwassers wird erst im unteren Teil der Ergolz eingeleitet. Eine Zentralisierung von Kläranlagen hat somit direkte Folgen für die Niedrigwasserführung.

Ebenso sollte die dezentrale Versickerung von Oberflächenwasser gefördert werden, z.B. im Siedlungsbereich. Entwässertes Wasser z.B. an Hanglagen sollte wiederversickert werden. Wo dies nicht möglich ist, sollte Fremdwasser konsequent in Oberflächengewässer geleitet und Trennwassersysteme forciert werden. Allerdings können stossartige Einleitungen von verschmutztem oder überhitztem Wasser, z.B. von Autobahntwässerungen problematisch für Fische und die Gewässerfauna sein. Werden grössere Wassermengen mit erhöhten Temperaturen von Plätzen oder Strassen in die Oberflächengewässer geleitet, sind daher zusätzliche Massnahmen wie Strassenabwasserreinigungsanlagen (SABO) zu installieren, die als Puffer für den Temperatureausgleich und für die Reinigung des einzuleitenden Wassers dienen.

Wasserentnahmen in Trockenperioden aus bisher ungefassten Quellen sind als problematisch einzustufen, da den kleinen Fliessgewässern ein erheblicher Anteil an Wasser entzogen werden könnte. Auch die lokalen Lockergesteinsgrundwasserleiter sind heute bereits stark genutzt. Um diese Vorkommen in Trockenzeiten zu schonen, sollten die Wasserversorgungen mit Verbindungsleitungen zu Fassungen in regionalen Grundwasserleitern vernetzt werden.

Zur kurzfristigen Grundwasseranreicherung bei sommerlichen Hochwässern könnten Infiltrationsflächen für Oberflächengewässer geschaffen werden. So sollten bei Revitalisierungen Ruderalflächen und Retentionsflächen installiert werden.

Für das Monitoring der Niedrigwasserabflüsse, braucht es entsprechende Messstellen an den Oberflächengewässern mit einer genügenden Messgenauigkeit und entsprechendem Unterhalt. Geschiebeablagerungen müssen regelmässig entfernt und hydrometrische Kalibrationsmessungen durchgeführt werden.

Grundlage für die Berechnung des Restwassers bzw. der Dotierwassermenge ist der  $Q_{347}$ , der Abfluss, der im Mittel an 347 Tagen im Jahr überschritten wird. Da zu erwarten ist, dass der  $Q_{347}$  durch die zunehmende Trockenheit stetig kleiner wird, sollte eine Alternative für die Bestimmung der Dotierwassermenge herangezogen werden, wie z.B. gewässerökologische Grundlagen.

## 4.2 Auswirkungen auf die Landwirtschaft

Grundsätzlich sind höhere Temperaturen für die landwirtschaftliche Produktion nicht schlecht. Bei höheren Temperaturen steigt das Pflanzenwachstum. Jedoch braucht es dazu genügend Wasser. Wie im vorherigen Kapitel gezeigt wurde, steht in Zukunft in den Sommermonaten nur wenig bis kein Wasser aus Fließgewässern oder dem Grundwasser für die landwirtschaftliche Bewässerung zur Verfügung. Im Winter hingegen gibt es Wasserüberschüsse.

Sommerliche Hochwässer sind durch den späten Zeitpunkt, das sporadische Auftreten und nicht zuletzt durch das stark getrübt Wasser ungeeignet für eine Entnahme für Bewässerung. Da die Brauchwasser-Entnahme aus Bächen schon heute oft nicht möglich ist, gibt es nur sehr wenige Nutzer, die überhaupt Oberflächenwasser entnehmen. Momentan sind es im Kanton BL lediglich sechs Landwirte, die eine Bewilligung zur Entnahme von Oberflächenwasser beantragt haben. Ein völliger Verzicht auf Wasserentnahmen im Sommer hätte deshalb keine gravierenden Auswirkungen.

Darüber hinaus sind die Wasserüberschüsse bietenden Fluss-Unterbänke räumlich getrennt vom Wasserbedarf. Abbildung 4.2 zeigt die Bodennutzung im Kanton BL. Es wird deutlich, dass ein Grossteil der zu bewässernden Flächen räumlich weit entfernt ist von möglichen Brauchwasser-Entnahmestellen.

Die grossen räumlichen Distanzen sprechen neben dem enorm hohen technischen und finanziellen Aufwand auch gegen eine Speicherung von im Winter anfallendem Wasserüberschuss in zentralen grossen Speicherbecken. Einige landwirtschaftliche Betriebe haben deshalb dezentrale, kleinere Speicherbecken mit einem Volumen von ca. 1000 m<sup>3</sup> angelegt, die sich in der Nähe der zu bewässernden Flächen befinden und die im Winter mit Oberflächenwasser, Drainagewasser oder von kleineren Quellen befüllt werden. Im Einzelfall könnten auch stillgelegte Güllegruben als Speicherbecken dienen. Allerdings ist dabei das Speichervolumen von typischerweise 100 – 300 m<sup>3</sup> in den meisten Fällen zu klein. Der Bewässerungsbedarf im Obstbau beträgt beispielsweise ca. 400 – 500 m<sup>3</sup>/ha im Jahr.

Die durchgeführten Grundlagenstudien zur Bewässerung in der Landwirtschaft haben gezeigt, dass eine Bewässerung nur bei Kulturen mit hoher Wertschöpfung wie z.B. Gemüse, Obst und Beeren wirtschaftlich ist (Kap. 3.2). Für die meisten anderen Kulturen resultiert die Bewässerung durch den zusätzlichen Aufwand in einem Verlust. Wenn bewässert wird, gibt es verschiedene effiziente Methoden, die auch mit einem sehr unterschiedlichen Energieaufwand verbunden sind (siehe Tab. 3.3). Mittels Monitoring der Bodenfeuchte kann der Wasserbedarf der Kulturen ermittelt und die Bewässerung gezielt eingesetzt werden.

Mit dem Klimawandel rücken aufgrund des grossen Aufwandes und der kaum gegebenen Wirtschaftlichkeit der Bewässerung wassersparende Anbaumethoden in den Fokus, wie z.B. die Verwendung von bodendeckender Untersaat oder das Mulchen oder die Verwendung von Sorten, die einen geringeren Wasserbedarf aufweisen. Hier gibt es in der Pflanzenzüchtung die Bestrebung, trockenheitsresistentere Sorten zu züchten.

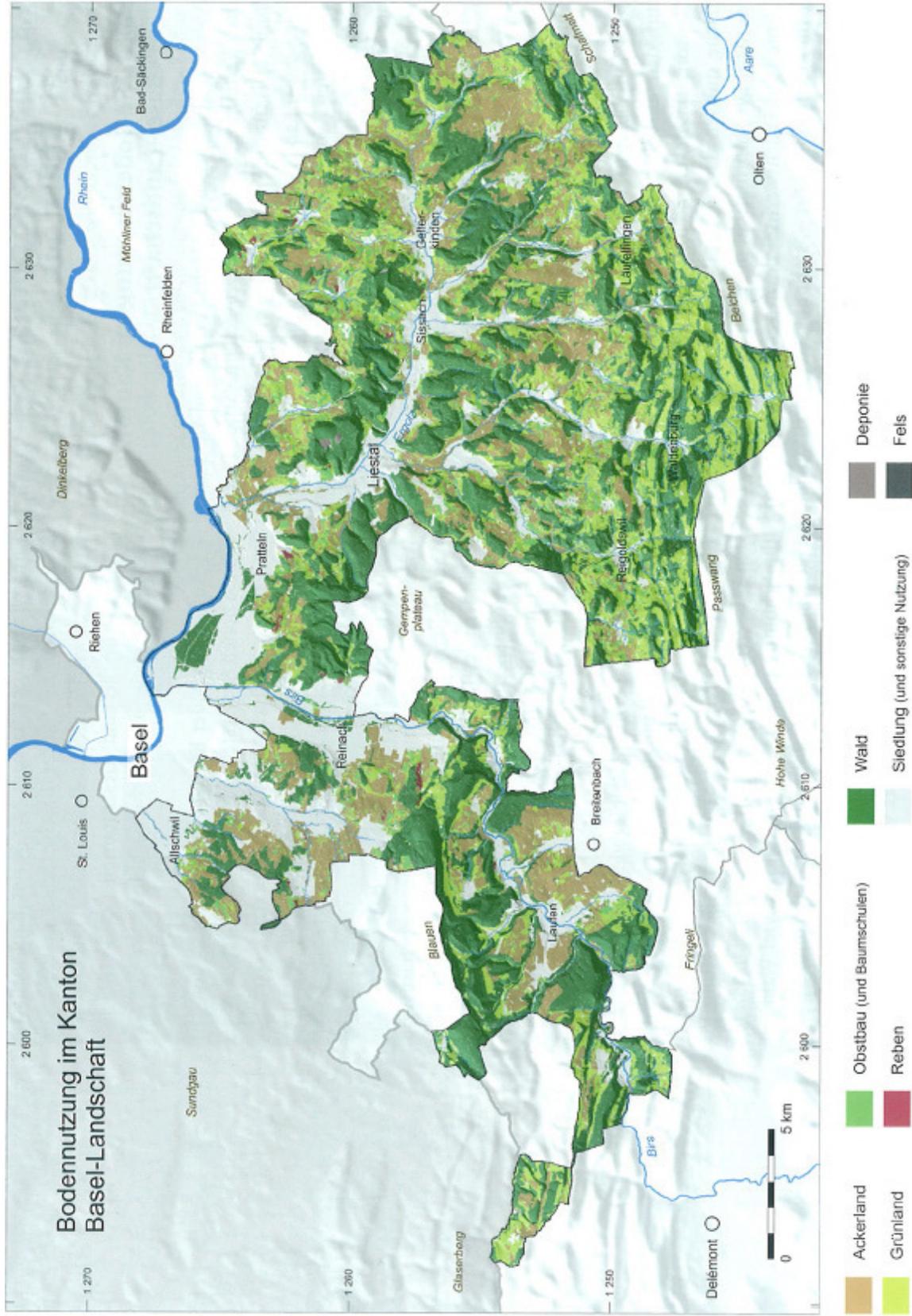


Abb. 4.2: Bodennutzung im Kanton BL (Mosimann, 2015).

### 4.3 Auswirkungen auf die Fischfauna

Ausgehend von der langjährigen Temperatur-Messreihe an der Birs kann für den Zeithorizont 2085 eine Zunahme der Wassertemperatur erwartet werden von 0.9°C – 5.8°C (wahrscheinlichste Szenarien: 1.6°C – 4.5°C) im Sommer und 0.2°C – 2.2°C (0.6°C – 1.6°C) in den Wintermonaten. Die Ergebnisse können mit Einschränkungen auf die anderen Gewässer übertragen werden. Diese Temperaturerhöhungen können für die Fischfauna problematisch werden. Der optimale Temperaturbereich für Forellen und Äschen liegt zwischen 5°C und 19°C, Wassertemperaturen über 24°C sind letal für Forellen (Äschen 26° - 27°C). Erhöhte Temperaturen spielen auch eine entscheidende Rolle für den Krankheitsverlauf bei der sog. Proliferativen Nierenkrankheit (PKD). Tiefere Temperaturen verlangsamen den Krankheitsverlauf, was den Fischen eine höhere Überlebenschance erlaubt.

Abbildung 4.3 zeigt Wassertemperaturmessungen von 2014 von Baselbieter Fließgewässern im Vergleich mit dem für Forellen optimalen Temperaturbereich. Tabelle 4.1 listet die in der Periode 2009 - 2014 erreichten Maximaltemperaturen der untersuchten Baselbieter Gewässer auf. Es zeigt sich, dass bereits in der Periode 2009 - 2014 – die keinen extremen Hitzesommer enthält – verbreitet Wassertemperaturen über dem für Forellen optimalen Bereich erreicht wurden. Problematische Wassertemperaturen von mehr als 24°C können angesichts prognostizierter Temperaturzunahme von bis zu 5.8°C in vielen Baselbieter Fließgewässern erreicht werden. Etwas besser als Forellen und Äschen kommen Karpfenartige wie z.B. Elritzen und Karpfen zurecht, erhöhte Temperaturen sind jedoch für alle heimischen Fischarten problematisch.

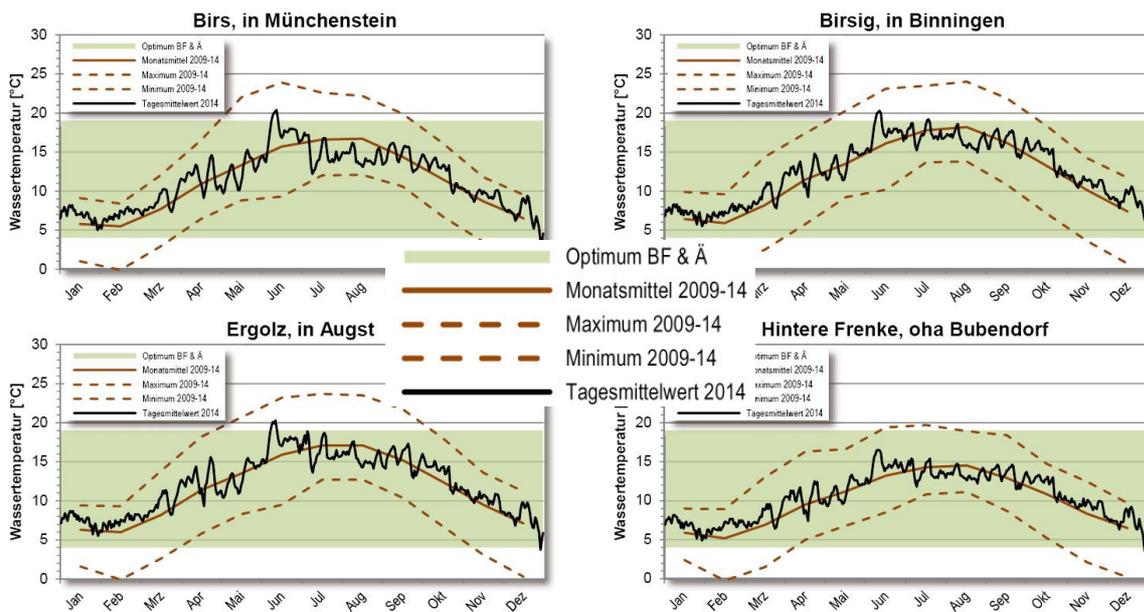


Abb. 4.3: Tagesmittel der Wassertemperatur von 2014 an vier ausgewählten Baselbieter Fließgewässern, sowie die Temperaturmaxima und -minima der Periode 2009-2014 im Vergleich mit dem optimalen Temperaturbereich für Bachforellen (BF) und Äschen (Ä) (WFN, 2015).

Tab. 4.1: Übersicht der in der Periode 2009 – 2014 aufgetretenen Maximaltemperaturen

EZG	Birs-Münchenstein	Birs-Laufen	Lützel-Röschenz	Lüssel-Brislach	Ergolz-Augst	Ergolz-Bückten	Orisbach-Liestal	Vordere Frenke-Bubendorf	Hintere Frenke-Bubendorf
Tmax [°C]	21.2	20.0	17.3	18.8	21.3	20.5	20.1	21.2	17.5
EZG	Diegtersbach-Zunzgen	Homburgerbach-Thürnen	Eibach-Gelterkinden	Violenbach-Augst	Birsig-Binningen	Marchbach-Oberwil	Buuserbach-Maisprach	Wintersingerbach-Wintersingen	Rhein-Pratteln
Tmax [°C]	19.4	21.5	18.5	20.0	22.4	21.6	18.4	16.8	24.6

Eine Kompensation der durch den Klimawandel bedingten Temperaturzunahmen kann - zumindest teilweise - durch ökomorphologische Aufbesserungen in den Gewässern erreicht werden. Verbesserungen des fischökologischen Gewässerzustands zeigten sich in den Erhebungen v.a. dort, wo Massnahmen zur Verbesserung der Ökomorphologie durchgeführt wurden, wie z.B. die bessere Vernetzung der Fliessgewässer und die Aufwertung der Bachsohle mit mehr Tiefenvariabilität. In die Gewässersohle eingetieft und durch Vegetation beschattete „Pools“ mit grösserer Wassertiefe und geringen Fliessgeschwindigkeiten bieten Zonen mit kühlerem Wasser. Solche „Pools“ könnten auch anthropogen angelegt werden. Voraussetzung für deren Wirksamkeit ist das Vorhandensein in ausreichender Dichte, bzw. die Erreichbarkeit ohne Wanderhindernisse für Fische. Die Pools sollten vorzugsweise in Grundwasserexfiltrationszonen angelegt werden, wo kühleres Wasser zuströmt.

Die Vernetzung der Fliessgewässer, d.h. die Entfernung von Wanderhindernissen ist auch deshalb sehr wichtig, damit Fische aus trockenfallenden Gewässerabschnitten fliehen können. Aufgrund von Wassermangel mussten im Kanton BL bereits diverse Gewässer in regelmässigen Abständen ausgefischt und die Fische umgesiedelt werden. In der Vergangenheit trockengefallene Bachabschnitte werden aus der Fischbewirtschaftung ausgeschieden und nicht mehr verpachtet. Die bereits unter 4.2 diskutierten Massnahmen zur Abminderung von Niedrigwassersituationen sind deshalb für die Fischfauna sehr wichtig. Einen wesentlichen Anteil bei Niedrigwasserabflüssen können die ARA Einleitungen ausmachen. Hinsichtlich der Wasserqualität sind diese für die Fischfauna offensichtlich wenig problematisch – selbst in Niedrigwassersituationen, wenn das gereinigte Abwasser einen hohen Anteil des Gesamtabflusses ausmacht. Problematisch sind hingegen stossartige Einleitungen von verschmutztem oder v.a. überhitztem Wasser, z.B. von Autobahnen.

Die Fischbestandeserhebungen zeigten in ca. 40% der untersuchten Gewässerstrecken eine erfolgreiche natürliche Fortpflanzung der Bachforelle, die ausreicht, um eine langfristig überlebensfähige Population zu erhalten (Abb. 4.4). Aufgrund der guten Naturverlaichung kann in diesen Gewässern also auf Besatz verzichtet werden. Im Einzelnen handelt sich hierbei um folgende Gewässer: Arisdörferbach, Buuserbach, Diegterbach, Ergolz Gelterkinden, Hintere Frenke, Vordere Frenke, Marchbach, Orisbach und Wintersingerbach. Wo Besatz notwendig ist, sollte dieser unter Berücksichtigung der Fischregionen, der lokal vorkommenden Fischarten auf der Roten Liste und der lokalen Genetik des jeweiligen Einzugsgebiet zu erfolgen (Zopfi, 2016). Zusätzlich sollte möglichst auf robuste, krankheitsresistente Arten gesetzt werden.

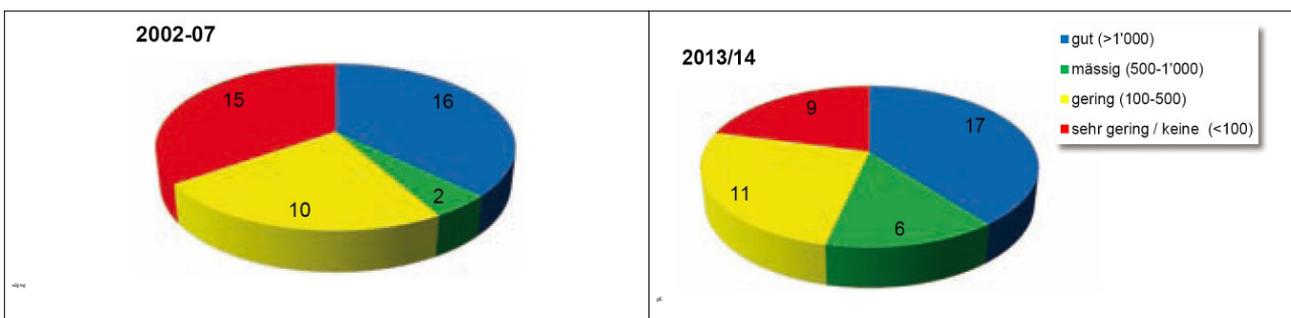


Abb. 4.4: Sömmerlingsdichten (Ind./ha) der Bachforelle zur Beurteilung der Naturverlaichung und Vergleich zwischen den beiden Erhebungen 2002 - 2007 und 2013/14 (WFN, 2015).

Die Grundlagenstudien zur Fischgenetik zeigten, dass innerhalb weniger Jahre lokale genetische Anpassungen an veränderte Umweltbedingungen möglich sind. Im Hinblick auf die Klimaänderung können diese lokalen Anpassungen von entscheidender Bedeutung sein für das Überleben der Fischbestände. Um die genetische Vielfalt zu erhalten und zu fördern, sollte das Besatzmaterial aus Elterntieren aus dem zu besetzenden Gewässer gewonnen werden. Die lokalen, genetisch angepassten Fischpopulationen sollen zusätzlich gefördert werden durch den Verzicht auf das regelmässige Abfischen der Nebengewässer sowie durch die Schaffung von Fischschongebieten (Zopfi, 2016).

## 5 Handlungsempfehlungen

Mit dem Klimawandel ergeben sich in Zukunft durch den veränderten Wasserhaushalt und die höheren Temperaturen veränderte Rahmenbedingungen für die Landwirtschaft und die Fischerei. Diese Veränderungen können nur mit einer gewissen Unsicherheit prognostiziert werden. Dennoch lassen sich konkrete Handlungsempfehlungen ableiten, die hier zusammenfassend aufgelistet sind.

### 5.1 Empfehlungen zum Wasserhaushalt in den Gewässern

- Bei dezentraler Wasserversorgung sollte auch die Abwasserreinigung dezentral betrieben werden. Andernfalls wird durch die Wasserversorgung mit Quellen in den Oberläufen den Einzugsgebieten massgeblich Wasser entzogen, das erst wieder in den Unterläufen der Flüsse als gereinigtes Abwasser eingeleitet wird. Der Abwasseranteil kann bei Niedrigwassersituationen einen wesentlichen Anteil des Gesamtabflusses ausmachen.
- Niederschlagswasser sollte im Siedlungsbereich dezentral versickert werden. Ebenso sollte Entwässerungswasser z.B. an Hanglagen wieder versickert werden.
- Fremdwasser sollte konsequent in Oberflächengewässer eingeleitet werden, wenn keine Versickerung möglich ist.
- Trennwassersysteme sollten weiter ausgebaut werden. Dabei sind aber Ausnahmen zu beachten und problematische direkte Einleitungen zu vermeiden (z.B. stossartige Einleitungen von überhitztem Wasser von Autobahnen).
- Kleinere Wasserversorgungen oder Wasserversorgungsregionen mit geringen Grundwasservorkommen, sollten nur den mittleren Bedarf selbst abdecken müssen. Der Spitzenbedarf soll durch Wasser aus regional bedeutenden Grundwasserleitern resp. Fassungen stammen, die auch in Trockenzeiten genügend Wasser liefern können. Für die regionale Vernetzung der Wasserversorgungen sind entsprechende Verbindungsleitungen zu bauen.
- Die lokale Anreicherung von Grundwasser soll gefördert werden z.B. im Zuge von Gewässerrevitalisierungen mit extensiv bewirtschafteten Retentionsflächen oder Gewässeraufweitungen, damit bei Hochwassersituationen Versickerung stattfindet.
- Dotierwassermengen sind aufgrund von gewässerökologischen Grundlagen festzulegen und nicht auf Basis von Messungen des Trockenwetterabflusses  $Q_{347}$ , da der Abfluss klimabedingt immer geringer wird.

### 5.2 Empfehlungen für die Landwirtschaft

- Längerfristig sind im Sommer aus den meisten Oberflächengewässern keine Wasserentnahmen möglich, da die Dotierwassermengen unterschritten sind. Wasserentnahmen sind nur für die grossen Fliessgewässer zu bewilligen wenn eine ausreichende Wasserführung vorhanden ist. Aus mittleren und kleineren Fliessgewässern kann nur im Winter und bei Hochwassersituationen Wasser entnommen werden.
- Eine Wasserspeicherung von Oberflächenwasser, Drainagenwasser und Dachentwässerung soll in kleinen, dezentralen Becken (ca. 1000 m<sup>3</sup>) in räumlicher Nähe zu den Wasserbedarfsflächen erfolgen. Auf eine flächendeckende Bewässerung muss verzichtet werden.
- Wenn bewässert wird, soll dies mit effizienten Bewässerungsmethoden erfolgen und ein Monitoring der Bodenfeuchte zur Ermittlung des tatsächlichen Wasserbedarfs soll durchgeführt werden.

- Ein weiterer Schritt zur Reduktion des Wasserverbrauches ist der Einsatz wassersparender Anbaumethoden wie z.B. die Verwendung von bodendeckender Untersaat. Die Wasserspeicherfähigkeit der Böden sollte durch den Eintrag von organischer Substanz und eine entsprechende sorgfältige Bodenbearbeitung verbessert werden.
- Von grosser Bedeutung sind längerfristig die Züchtung und Verwendung von Arten und Sorten, die trockenheitsresistent sind oder geringeren Wasserbedarf aufweisen.

### 5.3 Empfehlungen zur fischereilichen Bewirtschaftung

- Zur Minderung der Auswirkungen der geringeren Wasserführung und der erhöhten Wassertemperaturen auf die Fischpopulationen sind ökomorphologische Aufbesserungen der Gewässer, v.a. der Seitenbäche notwendig. Dies betrifft einerseits die Vernetzung der Fließgewässer und die Entfernung von Wanderhindernissen und andererseits die Aufwertung der Sohlenstruktur und Förderung der Tiefenvariabilität, z.B. mit der Anlage von „Pools“.
- Weiter sollte die Beschattung der Flüsse durch eine Ufervegetation gefördert werden.
- In Gewässern mit guter Naturverlaichung ist auf den Besatz mit Fischen zu verzichten. Bei ungenügender Naturverlaichung kann ein Besatz gemacht werden. Dieser ist dann allerdings unter Berücksichtigung der Fischregionen, der lokal vorkommenden Fischarten auf der Roten Liste und der lokalen Genetik des jeweiligen Einzugsgebiets durchzuführen. Es sollte möglichst auf robuste, krankheitsresistente Arten gesetzt werden. Wo nötig, soll die standortstypische Forelle gefördert werden.
- Zur Förderung der lokalen, genetisch angepassten Fischpopulationen ist auf das regelmässige Abfischen der Nebengewässer zu verzichten. Zudem sind ökomorphologisch wertvolle Schongebiete für Fische zu schaffen.
- Zudem sollen die gefährdeten Arten Nase, Strömer, Bachneunauge, Schneider, Äsche, Dohlenkrebs und Lachs gefördert und deren Entwicklung und Verbreitung überwacht werden.

### 5.4 Empfehlungen zum Monitoring

- Die Abflussmessungen sind heute vor allem auf den Hochwasserabfluss ausgelegt. Um klimatisch bedingte Trockenwettersituationen richtig zu erfassen, müssen insbesondere die Niedrigwasserabflüsse korrekt gemessen werden können. Dazu sind bei den Pegelstationen Niedrigwasserrinnen einzurichten und diese regelmässig zu warten, damit sich in den Rinnen keine Ablagerungen festsetzen können. Zudem sind von Zeit zu Zeit hydrometrische Eichmessungen durchzuführen.
- Zur Erfassung der Entwicklung der Wassertemperaturen sind kontinuierliche Messungen an möglichst vielen Oberflächengewässern durchzuführen. Langjährige Messreihen der Wassertemperaturen sind unabdingbar, um eine bessere Einschätzung der zukünftigen Entwicklung vornehmen zu können.
- Zur Ermittlung des Wasserbedarfs in der Landwirtschaft sind Bodenfeuchtemessungen an verschiedenen Standorten mit unterschiedlichen Bodentypen durchzuführen. Zur Erfassung der Entwicklung des Bewässerungsbedarfs sind auch hier Langzeitmessungen unabdingbar.
- Durch die regelmässige Erhebungen des Fisch- und Nährtierbestandes (ca. alle 3 - 5 Jahre) können die Auswirkungen einzelner Massnahmen und die längerfristige Entwicklung im Gewässer abgeschätzt werden.

Scherrer AG  
Hydrologie und Hochwasserschutz

Dr. Simon Scherrer

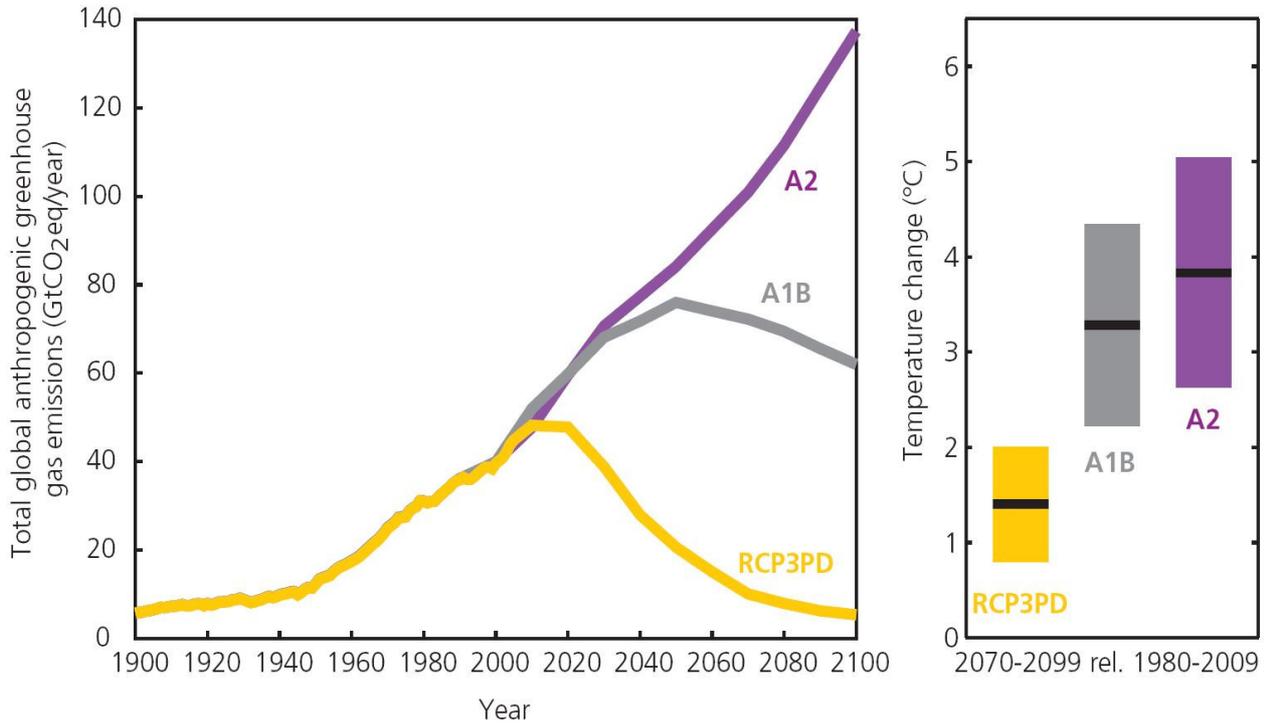
Dr. Peter Kienzler

Reinach, November 2016

Sachbearbeiter:

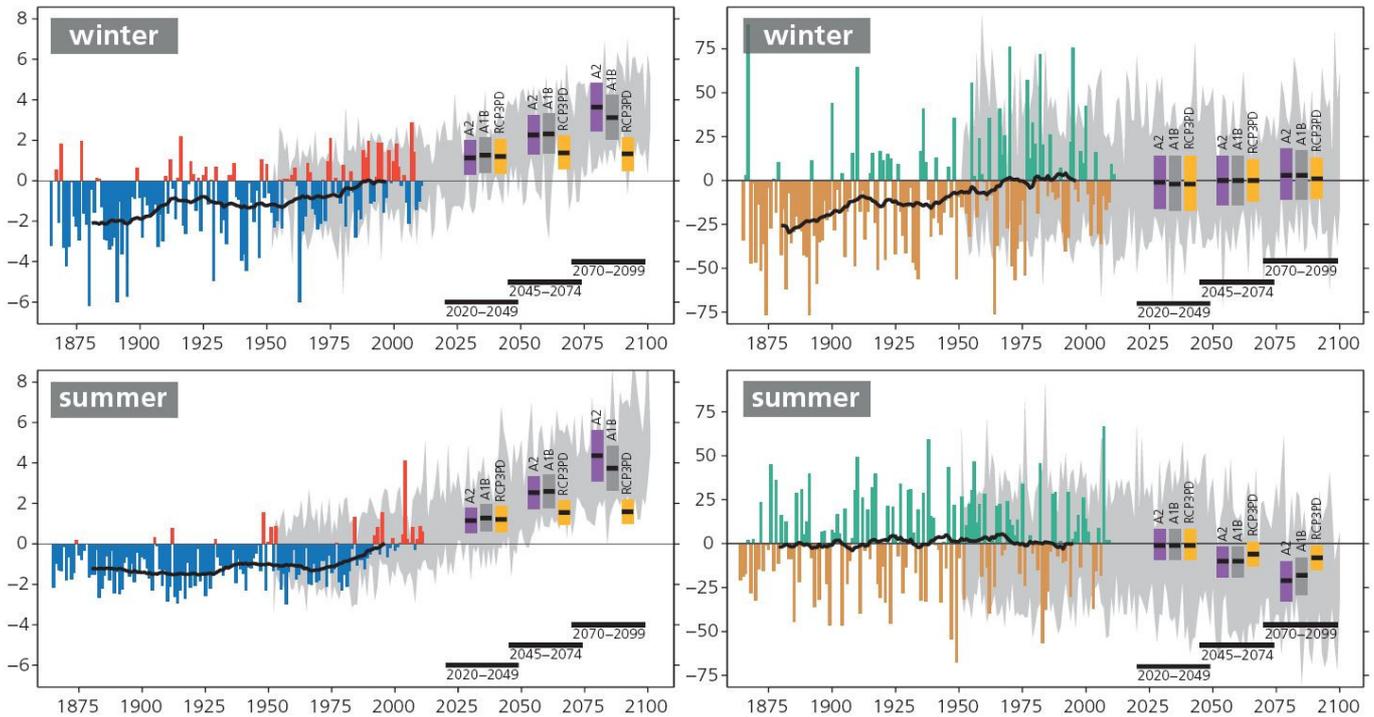
Dr. Peter Kienzler, Dipl. Hydrologe Universität Freiburg i.Brg.

Dr. Simon Scherrer, Dipl. Geograph Uni Basel



Temperature Change (°C)

Precipitation Change (%)



Anhang 1:

Oben: Emissionsszenarien von anthropogenen Treibhausgasen, zusammen mit der berechneten mittleren Erwärmung für die Schweiz in 2085 (aus CH2011, 2011).

Unten: Vergangene und zukünftige Änderungen der saisonalen Temperatur (°C) und des Niederschlags (%) in der Nordostschweiz. Die Änderungen beziehen sich auf den Referenzzeitraum 1980–2009 (aus CH2011, 2011).