

Reihe KLIMOPASS-Berichte

Projektnr.: 4500507266/23

Bewässerungs-Prognose Baden-Württemberg (BeProBW) - Ein interaktives Beratungs- und Planungswerkzeug zur Visualisierung und Bilanzierung des landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarfs im Klimawandel

von N. Billen, A. Assmann, B. Malburg-Graf,
H. Sauer, K. Spohrer, S. Bechtold, D. Böhme

Finanziert mit Mitteln des Ministeriums für Umwelt, Klima und
Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM)

Mai 2018

KLIMOPASS

Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

HERAUSGEBER	LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg Postfach 100163, 76231 Karlsruhe
KONTAKT KLIMOPASS	Dr. Kai Höpker, Dr. Ellinor von der Forst Referat Medienübergreifende Umweltbeobachtung, Klimawandel; E-Mail: klimopass@lubw.bwl.de
FINANZIERUNG	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg - Programm Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg (KLIMOPASS)
BEARBEITUNG UND VERANTWORTLICH FÜR DEN INHALT	Dr. Norbert Billen terra fusca ing. PartG, Stuttgart Dr. André Assmann, Sebastian Bechtold, Daniel Böhme geomer GmbH, Im Breitspiel 11 B, 69126 Heidelberg Dr. Barbara Malburg-Graf DIALOGIK gGmbH, Lerchenstr. 22, 70176 Stuttgart Heike Sauer Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau, Diebsweg 2, 69123 Heidelberg Dr. Klaus Spohrer Universität Hohenheim, Inst. für Agrartechnik (440e), Garbenstraße 9, 70599 Stuttgart
BEZUG	http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/ ID Umweltbeobachtung U83-W03-N35
STAND	Mai 2018, Internetausgabe Dezember 2018

Verantwortlich für den Inhalt sind die Autorinnen und Autoren. Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Nachdruck für kommerzielle Zwecke - auch auszugsweise - ist nur mit Zustimmung der LUBW unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG	5
1 EINLEITUNG	7
1.1 Die Ausgangslage	7
1.2 Das Prognosewerkzeug	7
1.3 Zwei Nutzungsbeispiele	7
1.4 Der Projektablauf	8
2 STAND DER FORSCHUNG	9
2.1 Entwicklung des Bewässerungsbedarfs	9
2.2 Regelwerke zur Bewässerungsprognose	10
2.3 Plattformen zur Bewässerungsprognose	10
2.4 Hintergründe zum Praxistransfer	11
3 PROJEKTDURCHFÜHRUNG	13
4 ANFORDERUNGEN POTENZIELLER ANWENDER AN DAS PLANUNGSWERKZEUG	15
4.1 Ergebnisse der Telefon-Interviews	16
4.1.1 Aktuelle Bewässerungssituation in den ausgewählten Regionen	16
4.1.2 Handlungsbedarf in Bezug auf Anpassungsstrategien	17
4.1.3 Bedarf an Daten, Informationen sowie an Beratungs- und Planungshilfen	18
4.2 Ergebnisse des Experten-Workshops	18
4.2.1 Ergebnisse der Gruppenarbeit der Gruppe A („Grün“)	19
4.2.2 Ergebnisse der Gruppenarbeit der Gruppe B („Rot“)	21
4.3 Ergebnisse einer universitären Lehrveranstaltung	23
4.4 Ergebnisse des Praxistests	24
4.5 Fazit aus der Befragung und der Beteiligung von Akteuren	25
4.6 Akteursgruppen und potenzielle Anwender	25
5 MODELLE, METHODIK UND DATEN FÜR DAS PLANUNGSWERKZEUG	27
5.1 Modellwahl	27
5.2 Datenbedarf und -verfügbarkeit	28

5.2.1	Klima – Kennwerte und Auflösung	29
5.2.2	Boden – Kennwerte und Maßstab	32
5.2.3	Kulturpflanzen – Kennwerte, Arten und Fruchtfolgen	33
6	TECHNISCHER RAHMEN DES PLANUNGSWERKZEUGS	37
6.1	Systemarchitektur, Programmiersprachen und Softwarekomponenten	37
6.2	Funktionsweise	37
6.2.1	Programmzugang	38
6.2.2	Eingabe der Modellparameter	38
6.2.3	Darstellung der Ergebnisse	40
6.3	Dokumentation	41
7	ERGEBNISSE	45
7.1	Bewässerungsbedarf eines Feldes an einem Klimapunkt am nördlichen Oberrhein	45
7.2	Bewässerungsbedarf an zwei repräsentativen Klimapunkten im Vergleich	46
7.3	Ergebnisplausibilität gegenüber alternativen Prognoseverfahren	49
7.4	Karten zur Entwicklung des landesweiten Bewässerungsbedarfs	51
8	ABSCHLUSS UND AUSBLICK	53
8.1	Abschlussveranstaltung	53
8.2	Ausblick	55
9	QUELLENVERZEICHNIS	66
10	ANHANG	69

Zusammenfassung

Die ausgeprägten Trockenheitsphasen in den Sommerhalbjahren 2003 oder 2015 zeigten eindrucksvoll die Zunahme von klimawandelbedingten Wetterextremen. Dies wird auch in Baden-Württemberg zu einem vermehrten Wasserbedarf führen, so dass u.a. die Nutzungskonkurrenz zwischen Landwirtschaft und anderen Wassernutzern ebenso zunimmt wie der dadurch bedingte Bedarf an Handlungsalternativen. Zur Planung von zukunftsgerechten Anpassungsmaßnahmen sollen mit dem BeProBW-Vorhaben daher Strategien für den Bewässerungslandbau abgeleitet werden können. Dies geschieht mit Hilfe eines Prognosewerkzeugs auf Basis einer interaktiven Webanwendung und von Kartenwerken, was im Rahmen von drei Arbeitspaketen entwickelt, getestet und publiziert wurde.

Dazu wurden im ersten Arbeitspaket das Wissen und die Erfahrung von Expertinnen und Experten einbezogen. In einem ersten Schritt wurden deshalb zu Beginn des Projekts leitfadengestützte, telefonische Interviews mit ausgewählten Personen im Bereich Landwirtschaft und Wasserwirtschaft durchgeführt. Basierend auf den Ergebnissen wurde in einem zweiten Schritt ein Expertenworkshop veranstaltet. Dabei ergab sich eine Fülle von Informationen und Anforderungen, die weitgehend bei der Realisierung des BeProBW-Prognosewerkzeugs berücksichtigt wurden. In dem Beteiligungsprozess erkannten planende, beratende und genehmigende Akteure auf lokaler, regionaler und überregionaler Ebene den Nutzen des geplanten Werkzeugs gut. Bei den Akteuren aus der landwirtschaftlichen Praxis stand hingegen eine Brauchbarkeit für die tägliche Bewässerungssteuerung im Vordergrund, was mit BeProBW jedoch nicht erreichbar ist. Nach dem Aufbau eines Prototyps des Prognoseinstruments, der im dritten Arbeitspaket erfolgte (s.u.), wurde in einem dritten Schritt der Akteursbeteiligung ein Praxistest am Landwirtschaftsamt Heilbronn mit Landwirten und Beratern durchgeführt, um Informationen zur praxistauglichen Funktionalität zu erhalten, die weiteren Verbesserungen und Korrekturen des Programms dienen. Prinzipiell wurde das Prognoseinstrument dabei positiv beurteilt. Allerdings wurde eine Reihe weiterer Korrektur- und Verbesserungsmaßnahmen identifiziert, um die Praxistauglichkeit und Plausibilität des Instruments weiter zu verbessern. Unabhängig davon wurde der Prototyp des Prognoseinstruments zusammen mit weiteren BeProBW-Ergebnissen bei einer öffentlichen Abschlussveranstaltung einem erweiterten Interessentenkreis vorgestellt.

Im zweiten Arbeitspaket wurde die fachliche Grundlage gelegt für die Bewässerungsbedarfsprognose, die auf der Berechnung der klimatischen Wasserbilanz basiert und einem mathematischen Ansatz zur Abschätzung der Wassergehaltsänderungen im Boden auf Basis modellierter Klimagrößen entspricht. Die dafür erforderlichen Kennwerte wie Niederschlag, Potentielle Verdunstung über Gras n. Penman und Anzahl der Niederschlagstage stammen aus Ensemble-Modellierungen der LUBW, die nutzbare Feldkapazität, Bodenfruchtbarkeit und das Bodenverteilungsmuster stammen aus der Bodenkarte 1:50.000 des LGRB und die Pflanzenkennwerte von 26 Feldkulturen wie Verdunstungsfaktoren und Wurzeltiefen stammen aus empirischen Untersuchungen. Diese Daten wurden dann im System des Prognosewerkzeugs hinterlegt. Plausibilitätsberechnungen mit dem BeProBW-Programm ergaben im Vergleich mit zwei alternativen Berechnungsverfahren tendenziell Bedarfswerte, die im unteren Skalenbereich oder knapp darunter liegen. Trotzdem wurde bei der Berechnung verschiedener Szenarien und auch bei der Erstellung von landesweiten Bewässerungskarten ein zunehmender Bewässerungsbedarf in der Zukunft festgestellt, sofern die Feldkulturen unverändert bleiben. Der Bedarf wird umso größer, je geringer die Wasserspeicherkapazität der Böden ist. Zu den besonders betroffenen Landschaften gehören z.B. Bauland/Hohenlohe, die Gäue am Ostrand des Schwarzwaldes oder die Alb/Baar-Region.

Im dritten Arbeitspaket wurde auf Grundlage der o.g. Anforderungen ein Prototyp des BeProBW-Werkzeugs entwickelt. Die Software ist als webbasierte Client-Server-Architektur konzipiert. Der Server ist als Java-Servlet umgesetzt und fungiert als sogenannter Webdienst, mit dem durch Zusenden von Simulationsaufträgen in Form von XML-Dokumenten über HTTP kommuniziert werden kann. Sobald ein Simulationsauftrag an den Server geschickt wird startet die Berechnung. Nach Abschluss der Simulation wird das Ergebnis im JSON-Format zurück an den anfragenden Computer gesendet. Zusätzlich zum Simulationsdienst wurde eine webbasierte Client-Anwendung auf Basis von HTML, CSS und TypeScript/JavaScript implementiert. Mit dieser können auf einfache Weise Simulationsszenarien definiert, Simulationsanfragen an den Dienst gesendet und die Ergebnisse visualisiert werden. Das webbasierte Programm ist unter der Internet Adresse „<http://94.130.142.96/beprobw/>“ vorläufig bis zum 30.11.2018 aufrufbar.

Um eine unbefristete Verfügbarkeit und die praktische Relevanz des BeProBW-Prognosewerkzeugs zu gewährleisten, wurden im Rahmen der Interviews, des Workshops und des Praxistests zentrale Anregungen gemacht. Demnach ist der dauerhafte Zugang zu dem webbasierten Prognoseinstrument sicherzustellen, indem Vereinbarungen mit dem Land Baden-Württemberg getroffen werden, welche die Ansiedlung und Betreuung des Webdienstes regeln. Einhergehend damit sollte das Programm zu einem Expertensystem ausgebaut werden, indem eine stetige Erweiterung sowie Verbesserung der Datenbasis im System stattfindet und somit ein institutionsübergreifendes, d.h. landeseinheitliches System zur Bewertung des Bewässerungsbedarfs bei Planungen und Genehmigungsverfahren etabliert wird.

1 Einleitung

1.1 DIE AUSGANGSLAGE

In Süddeutschland wird der Klimawandel mit einer Verstärkung von Wetterextremen verbunden sein. So ist mit längeren und häufigeren Trockenzeiten in der Vegetationsperiode zu rechnen, die zu erhöhtem Bewässerungsbedarf in der Landwirtschaft führen werden. Um den zukünftigen Wasserbedarf zielgerichtet bilanzieren und visualisieren zu können, soll mit dem Projekt BeProBW ein Beratungs- und Planungswerkzeug mit Beteiligung derjenigen entstehen, die an der Thematik ein fachspezifisches Interesse haben und/oder Anwender des Instrumentes sein könnten.

Mit Hilfe des Instruments sollen sich technische Bewässerungsmaßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel ableiten lassen, wie etwa das Ausmaß für erhöhte Förder-, Transport- und Zwischenspeicher-Kapazitäten von Beregnungswasser oder die Einspareffizienz von Maßnahmen wie Tröpfchenbewässerung, aber keine tagesspezifischen Prognosen. Außerdem sollen auch pflanzenbauliche Alternativen in der Fruchtfolge für eine effizientere Wassernutzung prüfbar sein, wie etwa die Umstellung von Winter- auf Sommergetreide.

Der Schwerpunkt des Projekts liegt auf den Regionen Oberrhein und Bodensee (kurz: Rhein) sowie der Achse Heilbronn-Ludwigsburg-Esslingen (kurz: Neckar), die bereits heute einen verbreiteten Anbau von Gemüse, Kartoffeln oder Mais mit Bewässerung aufweisen.

1.2 DAS PROGNOSEWERKZEUG

Das webbasierte Werkzeug ist bis zum 30.11.2018 als Anwendung für Computer bis hin zum Smartphone öffentlich verfügbar. Es wird Berechnungen für unterschiedliche Szenarien durchführen können. Dazu werden in dem System räumliche Lage, Zeitraum, Klimaszenario, Anbaukulturen etc. auswählbar sein. Die Nutzer sollen aber auch auf einfache Weise eigene Szenarien definieren können. Die Ergebnisdarstellung erfolgt in Form von Karten, Grafiken oder Tabellen. So kann das Instrument z.B. Bewässerungsverbände, Regierungspräsidien, Landratsämter (Landwirtschaft, Wasserwirtschaft), Kommunen und Landesanstalten oder entwicklungsorientierte Landwirtschaftsbetriebe bei einer zukunftsorientierten Bewässerungsplanung unterstützen.

1.3 ZWEI NUTZUNGSBEISPIELE

Um das Verständnis für das Grundziel und die Funktionalität des Prognosewerkzeugs bei potenziellen Anwendern zu verbessern, wurden im Vorfeld der Interviews zwei Nutzungsbeispiele aufgezeigt:

A) Mit dem Werkzeug soll der zusätzliche Wasserbedarf für zukünftige Beregnungen prognostiziert werden, um Ernte- und Wirtschaftlichkeitsrisiken etwa bei anspruchsvollen Feldkulturen wie Kartoffeln, Saatmais oder Zuckerrüben zu vermeiden. Somit lassen sich z.B. technische Anpassungsmaßnahmen ableiten wie etwa das Ausmaß für erhöhte Förder-, Transport und Zwischenspeicher-Kapazitäten von Beregnungswasser oder pflanzenbauliche Alternativen in der Kulturfolge für eine effizientere Wassernutzung prüfen wie etwa der vermehrte Anbau von Mais anstatt Kartoffeln.

B) Aufgrund der Nachfrage nach regionalem Gemüse von Seiten des Lebensmitteleinzelhandels werden vermehrt Gemüsekulturen angebaut, für die eine feste Beregnungsmöglichkeit für den Kulturerfolg zwingend erforderlich ist. Mit dem Werkzeug können Fragen dazu beantwortet werden, z.B.

(a) Welche Menge an Beregnungswasser ist in Zukunft unter Berücksichtigung der zurückliegenden Klimadaten durch die Flächenausweitung mit Gemüse notwendig? (b) Kann der Bedarf durch die bestehende Wasserversorgung gedeckt werden? (c) Wie sieht der zukünftige Beregnungsbedarf unter Berücksichtigung des Klimawandels in der nahen Zukunft aus?

1.4 DER PROJEKTABLAUF

Für die Realisierung des Werkzeugs werden Wissen und Erfahrung von Expertinnen und Experten einbezogen. Dazu wurden zunächst telefonische Interviews geführt. Basierend auf den Ergebnissen wurde ein Expertenworkshop durchgeführt, bei dem die Anforderungen an das Beratungs- und Planungswerkzeug diskutiert und festgehalten wurden. Im Anschluss daran wurde das Werkzeug ausgearbeitet und in der Region Heilbronn ein Praxistest gemeinsam mit lokalen Interessenten gestartet, um die Funktionalität und Praktikabilität des Werkzeugs sicherzustellen. In einer Abschlussveranstaltung werden die Projektergebnisse und das Werkzeug öffentlich präsentiert (weitere Details zur Projektdurchführung siehe Kapitel 3).

2 Stand der Forschung

2.1 ENTWICKLUNG DES BEWÄSSERUNGSBEDARFS

Gegenwärtig besteht in Baden-Württemberg für insgesamt 33 400 ha landwirtschaftliche Nutzfläche die Möglichkeit zur Bewässerung (Statistisches Bundesamt 2017: mit Flächenangaben zum Jahr 2015). Schwerpunktmäßig findet diese in Regionen mit gartenbaulicher Nutzung statt (Statistische Ämter des Bundes und der Länder – Agrarstrukturen in Deutschland 2011), da die Mehrzahl der gartenbaulichen Kulturen eine Zusatzbewässerung benötigt. Der Bewässerungsbedarf für eine wirtschaftliche Produktion von Sonderkulturen variiert nach Standort erheblich (Paschold 2010). Erfahrungswerte aus Südhessen, die in etwa der Rheinebene in Nordbaden gleichzusetzen sind, zeigen, dass der jährliche Beregnungsbedarf für zwei folgende Kulturen im Durchschnitt 260 mm beträgt (Groos 2008). In Freiburg wurden nach Paschold (2010) jeweils für eine Kultur zwischen 35 und 148 mm benötigt. Zinkernagel et al. (2017) kalkulierten aktuell neben dem Gesamt- auch den Zusatzwasserbedarf von Freilandgemüsekulturen mit Verdunstungs- und Niederschlagsdaten des Deutschen Wetterdienstes an ausgewählten Wetterstationen von 1962 bis 2016. So wurde etwa am Standort Freiburg ein durchschnittlicher Zusatzwasserbedarf von minimal 32 mm bei späten Buschbohnen auf Lehmboden und bis zu 415 mm bei Rosenkohl auf Sandboden errechnet.

Für Ackerkulturen im Allgemeinen haben Waldmann & Weinzierl (2004) im Regierungsbezirk Karlsruhe auf Basis von Bodenkarten im Maßstab 1:50.000 mit den nutzbaren Feldkapazitäten und der Verdunstung retrospektiv die Beregnungsbedürftigkeit berechnet. Die Ergebnisse wurden als Anzahl der Sommerhalbjahre mit klassifiziertem Beregnungsbedarf innerhalb einer 29-jährigen Zeitreihe bis 1990 dargestellt. Sie geben somit nur eine grobe Orientierung zum zusätzlichen Wasserbedarf, unabhängig von den Feldkulturen oder Gesamtwassermengen.

Die o.g. Untersuchungen zeigen somit höchst unterschiedliche Berechnungsweisen. Bei der DWA befindet sich deshalb ein Merkblatt im Aufbau, das die Kenntnisse verschiedener Fachrichtungen vereint und einen bundesweiten Ermittlungsstandard für die Bewässerungsbedürftigkeit anbietet (DWA 2017). Mit dem Merkblatt sind dann Tabellen etwa für Berater und Verbände verfügbar, aus denen mittels Klimatischer Wasserbilanz und nutzbarer Feldkapazität eine fruchtspezifische Zusatzwassermenge ermittelt werden kann. Somit ist dieser analoge Ansatz mit seinen Zielgruppen partiell vergleichbar mit dem digitalen BeProBW-Webwerkzeug, das jedoch differenziertere Berechnungen erlauben wird. Ebenfalls einen Webansatz gibt es für eine Beispielsregion in der Schweiz (e-dric.ch et al. 2016). Bei diesem stehen jedoch keine längerfristigen Bilanzierungen im Vordergrund, sondern die aktuelle Vorhersage des Bewässerungsbedarfs der Landwirtschaft für die nächsten 10 Tage. Damit sind dann regionale Übersichten des Bewässerungsbedarfs und Bewässerungsdefizits in kleineren Einzugsgebieten sowie lokale Warnungen zur Einschränkung der Wassernutzung möglich. Denn auch die verfügbaren Wasserressourcen finden Eingang in die Bewertung.

Durch in Zukunft auftretende Trockenphasen wird der Wasserbedarf weiterhin steigen. Die Verdunstungszunahme infolge einer Temperaturerhöhung um 1°C resultiert nach Kalkulationen zum Beispiel für das Gebiet Südhessen in einem um 80 bis 100 mm höherem Wasserbedarf (Groos 2008). Steigerungen im Wasserbedarf führen potentiell zu Engpässen bei der Wasserverfügbarkeit und zu Kostensteigerungen bei der Gewinnung von Wasser, was u.a. aus Untersuchungen für die rheinland-pfälzische SGD-Süd (2011) hervorgeht, die jedoch gleichzeitig mit der zukünftigen Ausbreitung von bewässerungsintensiven Kulturen rechnet. Blomhofer et al. (2009) fassen ihre umfangreichen Berechnungen im Rahmen von KLIWA-Untersuchungen zum

Wasserhaushalt in Süddeutschland zusammen mit dem Fazit, dass die Trockenperioden im Sommer zunehmen (Häufigkeit, Andauer), dadurch die Sickerwasserrate abnimmt sowie der Trockenheitsindex parallel mit dem klimabedingten sowie bewirtschaftungsbedingten Bewässerungsbedarf zunimmt und sich deshalb auch der Nutzungsdruck auf Grundwasserressourcen in den Sommermonaten verstärkt. Zu vergleichbaren Ergebnissen kommt auch Berthold (2013) in Hessen, der die Aussagen und Schlussfolgerungen neben den Berechnungen zum Wasserhaushalt auch faktisch mit Umfrageergebnissen untermauert. Daraus resultiert u.a. die große Bedeutung wassersparender Techniken wie zum Beispiel die Tropfbewässerung, die zu Einsparungen im Wasserbedarf im Vergleich zur Rohrbewässerung von 30-40 % führen soll und somit an Attraktivität gewinnen und eine Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel darstellen könnte.

2.2 REGELWERKE ZUR BEWÄSSERUNGSPROGNOSE

Zur Bewässerungsplanung in der Landwirtschaft hat sich die klimatische Wasserbilanzierung in der Praxis bewährt. Sie geht auf einen FAO-Ansatz zurück (Doorenbos und Pruitt 1977), mit dem Landwirten, Praktikern und Wissenschaftlern ein einfaches und weltweit anwendbares Planungswerkzeug zur bedarfsgerechten Bewässerung vorgestellt wurde, das sich aktuell in dem internationalen AquaCrop5.0 Modell der FAO (<http://www.fao.org/nr/water/aquacrop.html>) oder in der süddeutschen „Geisenheimer Bewässerungssteuerung“ (unter <http://www.hs-geisenheim.de>) widerspiegelt. Bei der klimatischen Wasserbilanz wird der Boden als Wasserspeicher betrachtet, der, abhängig von Abfluss (potenzielle Evapotranspiration, ET_{pot}) und Zufluss (Niederschlag) seinen Füllstand ändert. Als maximaler Füllstand wird üblicherweise die Feldkapazität des Bodens (FK) gesetzt. Während zur Wasserbilanzierung der Niederschlag gemessen wird, wird ET_{pot} anhand gemessener Wetterdaten indirekt ermittelt. Dabei wird zuerst die potenzielle Evapotranspiration einer Referenzpflanze (ET_o) mit fest definierten Eigenschaften bzgl. Transpiration und Verdunstung berechnet. Die potenzielle Evapotranspiration der betrachteten Feldfrucht (ET_{pot}) kann schließlich durch Multiplikation von ET_o mit einem entsprechenden Pflanzenkoeffizienten (kc-Wert) errechnet werden.

Die FAO stellt für alle Feldfrüchte kc-Werte zur Verfügung. Eine Weiterentwicklung des kc-Wert-Ansatzes wurde von Allen et al. (1998) vorgestellt und zielt insbesondere auf die stark schwankende Evaporation bei der Oberflächenbewässerung und deren optimierte Erfassung bei kleinen Rechen-Zeitschritten. Für Modellrechnungen im geplanten Vorhaben werden kc-Werte der Geisenheimer Bewässerungssteuerung (Paschold et al. 2002) verwendet. Dabei handelt es sich um kc-Werte, die durch die Hochschule Geisenheim empirisch für südwestdeutsche Feldfrüchte und Klimabedingungen bestimmt wurden und in regelmäßigen Abständen aktualisiert werden (Hochschule Geisenheim 2017). Weitere Informationen zum allgemeinen Wasserverbrauch der Kulturen bzw. technische Daten zu Bewässerungsverfahren und –planungen können zum Beispiel ausgewählten KTBL Datensammlungen (KTBL 2009, 2013) oder zukünftig dem geplanten DWA-Merkblatt M590 (DWA 2017) entnommen werden. Aber auch anderweitige Schriften liefern weitergehende Informationen und Kennwerte, die auf Versuchen im letzten Jahrzehnt basieren (Laber 2015, Hageneder 2013, Paschold 2010, Pflieger 2008) und auf Untersuchungen zur Bewässerung im nordwestlichen Baden-Württemberg beim Anbau von Kartoffeln, Mais, Weizen und Gerste (z.B. Schoellkopf-Ochs 2012, LTZ 2014) oder in Niedersachsen (z.B. Grocholl et al. 2014). Somit sind zwar gegenwärtig schon vielfältige Informationen für aktuelle Bewässerungsplanungen verfügbar, allerdings kaum unter dem Aspekt von Klimawandelszenarien in Südwestdeutschland.

2.3 PLATTFORMEN ZUR BEWÄSSERUNGSPROGNOSE

Zur Visualisierung des Bewässerungsbedarfs liegt z.B. in Niedersachsen bereits ein Ansatz für die Landesebene vor (Müller et al. 2012), der allerdings auf einem Wasserhaushaltsmodell beruht und somit gegenüber einer Wasserbilanzierung höhere Ansprüche an die Eingangsdaten stellt und deshalb nur eingeschränkt praxistauglich ist. Auch für die Feldebene wurde an Lösungen gearbeitet, die jedoch ein Expertenwissen vo-

raussetzen, das für die Praxis nur bedingt intuitiv ist wie z.B. das System der LBEG (2016) oder auf Untersuchungen in dem klimatisch höchstens bedingt vergleichbaren Ostdeutschland basieren, wie etwa die Excel-Anwendung BERWA von der TTL-Thüringen (2012), die zudem nicht mehr fortgeschrieben wird. Vergleichbar sind die Ergebnisse im Rahmen des LandCaRe-DSS Vorhabens zu bewerten, bei dem zwar ein Modellbasiertes Werkzeug für strategische und operationelle Maßnahmen der Bewässerung unter Klimawandel entwickelt wurde, das jedoch einen relativ hohen Kalibrierungsaufwand verlangt (LK-NI 2015). Somit konnte in dem relativ kurzen Vorhabenszeitraum von BeProBW kaum mit einer praxisreifen Anwendungsversion gerechnet werden.

Weitere Systeme sind wiederum für die die tagesaktuelle Bewässerungsplanung gedacht wie etwa das nur saisonal verfügbare System Agrowetter vom DWD (2017) bzw. eine für diesen Zweck noch in der Entwicklung befindliche Smartphone-Applikation auf Betriebsebene (Olberz 2016). Bei BeProBW fiel die Entscheidung auf ein webbasiertes Geoinformationssystem zur praxistauglichen Visualisierung der szenarischen Bilanzierung des zukünftigen Wasserbedarfs. Es basiert auf einer sogenannten „Drei-Schichten-Architektur“, bestehend aus einer Datenbank-Ebene, einer serverseitigen Modell-Ebene und einer Client-Anwendungsebene (siehe z.B. uizentrum 2016). Durch Verwendung langjährig erprobter Konzepte und Softwarekomponenten ist diese Architektur zuverlässig, flexibel und skalierbar und kann leicht an unterschiedliche Fachanforderungen angepasst werden. Marktführend in diesem Bereich sind zum einen eine kommerzielle Lösung der Firma ESRI (ArcGIS Server) und zum anderen eine weit verbreitete Kombination von Open-Source-Lösungen (PostGIS, GeoServer, OpenLayers etc.). Beispiele für Projekte, die in den vergangenen Jahren auf Basis dieser Architektur von oder in Kooperation mit dem Vorhabenspartner geomer GmbH entwickelt wurden, sind z.B. das Online-Bürgerbeteiligungssystem für Schadensprävention bei Starkregen (www.starkregengefahr.de), das Hochwasser-Entscheidungsunterstützungssystem der Stadtentwässerungsbetriebe Köln (nicht öffentlich zugängliches System) oder ein im Rahmen des Projekts „CHANGES“ an der Universität Twente entwickelte Entscheidungsunterstützungssystem (CHANGES 2015).

2.4 HINTERGRÜNDE ZUM PRAXISTRANSFER

Beim Transfer von Wissen aus der Forschung und Entwicklung in die Praxis kommt der transdisziplinären Forschung eine große Bedeutung zu - das bedeutet: Forschung, die interdisziplinär ist und bei der praxisnahes Wissen gemeinsam mit Partnern in der Praxis generiert und umgesetzt wird. Es geht darum, ein gesellschaftlich relevantes Problem zu lösen und hierfür ein in der Praxis anwendbares Instrumentarium zu entwickeln. Die Einbeziehung verschiedener Disziplinen und relevanter Praxisakteure ist für ein nachhaltiges Wassermanagement essenziell. Transdisziplinäres Forschen arbeitet mit Mitteln der Partizipation. Das Ziel ist nach Pohl und Hirsch Hadorn (2006, S. 23f), die Vielfalt an lebensweltlichen Sichtweisen und Interessen in den Forschungsprozess einzubeziehen, mit Hilfe lokalen Wissens die Komplexität des Problems zu erfassen, die Relevanz und Übertragbarkeit der Ergebnisse zu prüfen sowie die praktische Wirksamkeit der Ergebnisse zu verbessern. Der Forschungsprozess wird so gestaltet, dass die Angemessenheit des Vorgehens während des Prozesses überprüft wird und die Ergebnisse nach Abschluss der Arbeiten auch für die Praxis nutzbar gemacht werden.

Dreyer, Konrad und Scheer (2015) beschreiben die für diesen Zweck notwendige partizipative Modellierung, die zunehmend Relevanz in der transdisziplinären Forschung erhält. Dies ist ein integrativer Ansatz, der eine Vielzahl konzeptioneller und praktischer Formate der Akteurseinbindung einschließt. Verbindendes Element ist die strukturierte und moderierte Einbindung gesellschaftlicher Anspruchsgruppen und Wissensträger bei der Erstellung und/oder Nutzung konzeptioneller und computergestützter Modelle. Unter dem Oberbegriff werden auch solche Prozesse erfasst, in denen Stakeholder lediglich in Schritte der Vorbereitung der

Modellbildung und/oder in die Verfeinerung, Validierung und Nutzung des Modells (und nicht in die eigentliche Modellierung) eingebunden werden. Bei dem beantragten Vorhaben handelt es sich um einen solchen Prozess der partiellen Einbindung von Nutzern in die Modellerstellung.

3 Projektdurchführung

Das Vorhaben und die Entwicklung des Prognosewerkzeugs wurde im Rahmen von drei Arbeitspaketen durchgeführt unter Einbeziehung von externem Fachwissen und Datenquellen sowie der Erprobung in dem Modellgebiet Heilbronn (siehe Abbildung 1).

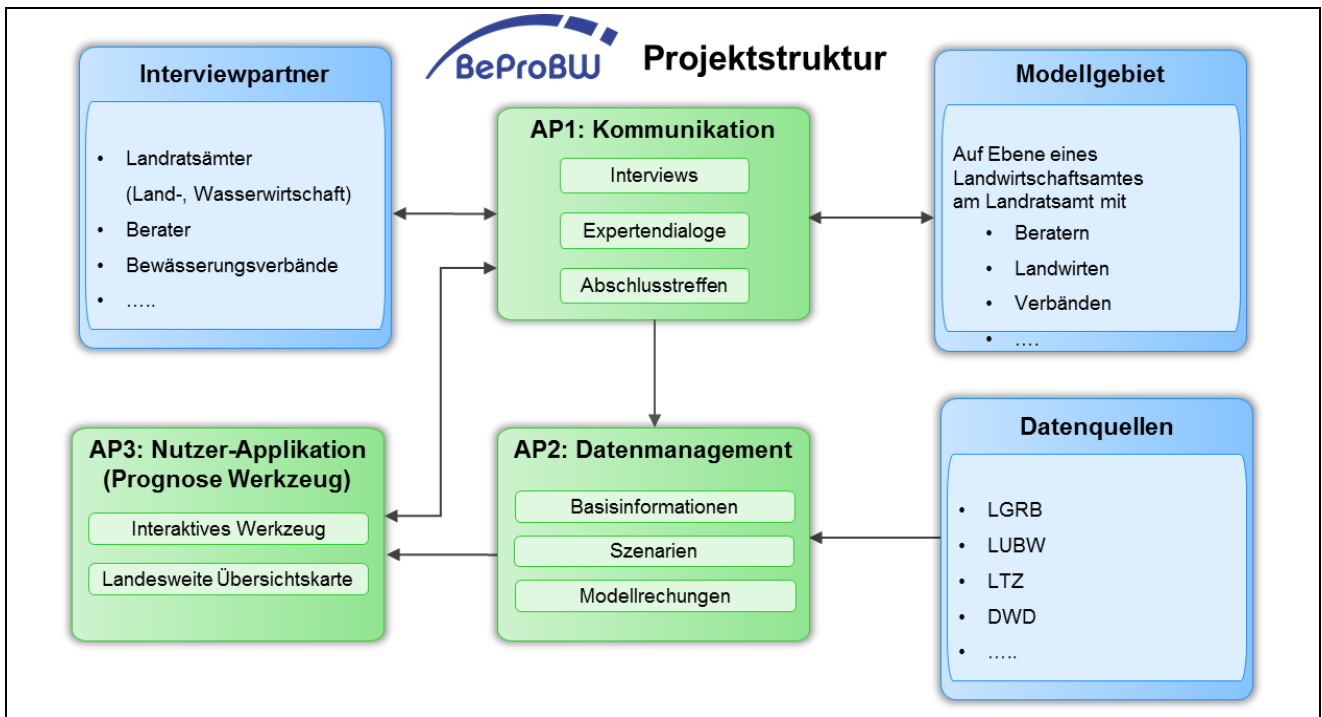


Abbildung 1: Die Struktur des BeProBW-Vorhabens nach Anpassung aufgrund der partizipativen Prozessergebnisse im Projektverlauf

Zum Projektstart fand zunächst ein Kickoff-Meeting des Projektteams statt, bei dem der Fahrplan für das gemeinsame Vorgehen detailliert besprochen wurde (Ablaufübersichten siehe Tabelle 1 und Abbildung 2). Passend zu den Arbeitspaketen „Kommunikation/Partizipation“ und „Datenmanagement / Basisinformationen“ wurden zunächst grundlegende Informationen gesammelt. Ein Sondierungsgespräch mit Vertretern des Landwirtschaftlichen Technologiezentrums Augustenberg (LTZ) und der Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau (LVG) Heidelberg ergab eine erste Liste von möglichen Institutionen mit Expertinnen und Experten, deren Wissen und Erfahrung im Rahmen des Arbeitspaketes Kommunikation/Partizipation für die Realisierung des Werkzeugs einbezogen werden sollten (siehe Anhang 2). Diese Liste stellte den Ausgangspunkt für die Vorbereitung von leitfadengestützten, telefonischen Interviews dar, die im Frühjahr und Frühsommer 2017 durchgeführt wurden. Zunächst musste durch erste schriftliche und telefonische Kontaktaufnahmen eine Übersicht gewonnen werden, welche Personen tatsächlich das geforderte Knowhow mitbringen. Das Formulieren einer Kurzbeschreibung des Projekts diente dazu, den Ansprechpartnerinnen und Ansprechpartnern die Projektabsichten so anschaulich wie möglich zu machen. Die erfolgten Interviews ergaben eine Fülle von nützlichen Informationen.

Parallel dazu fanden im Arbeitspaket „Datenmanagement/Basisinformationen“ Sondierungen zu den für das zu entwickelnde Werkzeug erforderlichen Daten (Übersicht siehe Tabelle 3) sowie die Festlegung der fachtechnischen Methoden und exemplarische Modellberechnungen statt (siehe Kapitel 5). Die relevanten Ergebnisse aus den geführten Interviews und die Ergebnisse der Datenrecherchen waren Grundlage für einen

internen Workshop des Projektteams, bei dem das weitere Vorgehen und erste Überlegungen zu einem Experten-Workshop besprochen wurden. Die Ergebnisse der Interviews wurden anschließend für den Workshop aufbereitet. Außerdem wurde ein erster Prototyp des BeProBW-Werkzeugs entwickelt, um den Workshop-Teilnehmern eine visualisierte Diskussionsgrundlage zur Verfügung zu stellen.

Im Juni 2017 wurde der Experten-Workshop durchgeführt, bei dem die Anforderungen an das Beratungs- und Planungswerkzeug diskutiert wurden. Der Workshop wurde dokumentiert und es wurden die Schlussfolgerungen für die technische Ausprägung des Werkzeugs gemeinsam mit den Interviewergebnissen in einer Tabelle zusammengetragen (siehe Anhang 6). Danach wurde mit der Ausarbeitung und Programmierung des Werkzeugs begonnen. Zwischenzeitlich fand ein weiterer interner Workshop des Projektteams statt, bei dem detaillierte Anforderungen an das Werkzeug und die Möglichkeiten bzw. die Varianten ihrer Umsetzung intensiv erörtert wurden.

Im Januar 2018 wurde im Rahmen einer Lehrveranstaltung an der Universität Hohenheim eine Vorstellungsrunde und Diskussionsrunde mit Studierenden der Agrarwissenschaften zum BeProBW-Instrument durchgeführt (Details siehe Kapitel 4.3). Im Februar 2018 wurde schließlich ein Praxistest mit einem Prototyp des Instrumentes gemeinsam mit Landwirten und Beratern am Amt für Landwirtschaft des Landratsamtes Heilbronn durchgeführt (Details siehe Kapitel 4.4). Basierend auf den Anregungen und Ergebnissen dieser Veranstaltungen und nach zahlreichen Test- und Plausibilitätsrechnungen wurden anschließend noch Korrekturen und Anpassungen vorgenommen. Die vorläufige Endversion wurde bei einer Abschlussveranstaltung im April 2018 der Öffentlichkeit vorgestellt.

Arbeitspaket / Aufgabe	16	2017											2018					
	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M
1.1 Kommunikation/Partizipation																		
1.2 Praxistransfer																		
2.1 Basisinformationen/-daten																		
2.2. Modellrechnungen																		
2.3 Datenbank																		
3. Nutzer-Applikation																		
Projektsteuerung, Berichte (B)												B	B			B		B

Abbildung 2: Angepasster Zeitplan für die Bearbeitung der Arbeitspakete im BeProBW-Vorhaben

Tabelle 1: Übersicht zu wichtigen Arbeitsschritten im BeProBW-Projektverlauf

Datum	Arbeitsschritt
21.12.2016	Projektinternes Auftakttreffen
12.01.2017	Externes Fach- und Sondierungsgespräch mit LTZ und LVG
03.02.2017	Projektinterne Fachsondierungen und Abstimmungen
15.03.2017	Projektinterne Methodendiskussion zur Wasserbedarfsrechnung
09.03.2017	Beginn der Interviews
27.04.2017	Projektinterne Besprechung von Zwischenergebnissen und weitere Planungen
24.05.2017	Projektinterne Planung und Vorbereitung des Experten-Workshops
22.06.2017	Abschluss der Interviews
27.06.2017	Expertenworkshop: Externe Erwartungen und Vorschläge an/für das Prognose-Werkzeug
22.09.2017	Projektinterne Besprechung der Workshop-Ergebnisse und zum Entwicklungsstand des Prognosewerkzeugs
14.12.2017	Projektinterne Besprechung zur weiteren Entwicklung des Prognoseinstruments und zur Skizzierung des geplanten Praxistests in Heilbronn
30.01.2018	Präsentation und Diskussion des Prognoseinstruments im Rahmen einer Lehrveranstaltung für Studierende der Agrarwissenschaften an der Universität Hohenheim
30.01.2018	Projektinterne Besprechung für Modell- und Plausibilitätsrechnungen mit dem Prognoseinstrument und zur Detailplanung des Praxistests in Heilbronn
23.02.2018	Praxistest des Prognoseinstruments mit Landwirten und Beratern am Landwirtschaftsamt Heilbronn
26.04.2018	Öffentliche Abschlussveranstaltung des BeProBW-Projektes an der LVG Heidelberg

4 Anforderungen potenzieller Anwender an das Planungswerkzeug

Gemeinsam mit Vertreterinnen und Vertretern des Landwirtschaftlichen Technologiezentrums Augustenberg (LTZ) und der Staatlichen Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau (LVG) Heidelberg wurden in einem ersten Arbeitsschritt relevante Institutionen und Organisationen sowie passende Expertinnen und Experten identifiziert, die als Nutzer des zu entwickelnden Werkzeuges in Frage kommen und das erforderliche Praxiswissen einbringen können (Übersicht siehe Tabelle 2, Institutionsliste siehe Anhang 2). Daraufhin wurde Kontakt aufgenommen mit Vertreterinnen und Vertretern von Wasserwirtschaftsämtern, Landwirtschaftsämtern und Beregnungsverbänden. Die entsprechenden Personen wurden schriftlich u.a. mit einem persönlichen Anschreiben und einem Projektinfoblatt (siehe Anhang 1) sowie telefonisch kontaktiert, um ihr Interesse an einer Mitwirkung im Projekt in Erfahrung zu bringen und gegebenenfalls Termine für Telefoninterviews zu vereinbaren.

Tabelle 2: Ergebnis der Erstsondierung mit dem LTZ und der LVG zu den gegenwärtigen Anbauregionen mit bewässerungsrelevanten Feldkulturen (grau markiert sind Institutionen und Feldkulturen, die bei den weiteren Befragungen im Focus stehen sollten)

Gegenwärtig schon bewässerungsrelevante Feldkulturen	Bodenseekreis	Breisgau/Hochschw.	Emmendingen	Esslingen	Heilbronn	Karlsruhe	Konstanz/Stockach	LTZ Augustenberg	LVWB Weinsberg	Ortenaukreis	Rastatt	Rhein-Neckar	Tübingen	WBI Freiburg
(Früh-) Kartoffeln		X		X	X							X		
Erdbeeren			X			X			X	X	X			
Gemüse		X	X	X	X	X	X					X	X	
Hopfen	X							X						
Körnermais		X	X									X		
Obstbau	X						X		X	X				
Saatmais		X												
Spargel						X				X	X			
Strauchbeeren	X								X	X				
Weinbau														X
Zuckerrüben												X		

Im Anschluss an den Erstkontakt wurden 15 leitfadengestützte telefonische Interviews mit diesen Expertinnen und Experten durchgeführt (Interview-Leitfäden siehe Anhang 3). Dabei wurden der Erfahrungshintergrund und die Wahrnehmung der Akteure zu den jeweiligen mit dem Thema „Bewässerung in der Landwirtschaft“ verbundenen Teilaspekten erfragt und die möglichen Konfliktbereiche mit konkurrierenden Wasserverbrauchern erfasst. Die Interviews wurden anschließend so ausgewertet, dass die gewonnenen Erkenntnisse in die Entwicklung des Beratungswerkzeugs einfließen und für die Vorbereitung eines Experten-Workshops verwendet werden konnten, der am 27.06.2017 an der LVG Heidelberg mit insgesamt 12 Experten stattfand (Teilnehmer-Liste siehe Anhang 4). Zu diesem Workshop wurden insgesamt 38 Personen bzw. Institutionen eingeladen, um zusätzlich zu den schon bei den Interviews involvierten Experten auch Stakeholder in Ministerien und Regierungspräsidien sowie bei der LUBW und anderen übergeordneten Fachbehörden zu berücksichtigen. Die Ergebnisse werden im Folgenden dargestellt. Die Schlussfolgerungen für das Prognose-Werkzeug sind im Anhang 6 tabellarisch zusammengefasst.

4.1 ERGEBNISSE DER TELEFON-INTERVIEWS

Als Vorbereitung des Experten-Workshops wurden Interviews mit Expertinnen und Experten aus Landwirtschaft und Wasserwirtschaft durchgeführt. Die befragten Personen sind folgenden Regionen in Baden-Württemberg zuzuordnen:

- Bodensee: Landkreis Konstanz mit Landwirtschaftsamt in Stockach
- Südlicher Oberrhein: Landkreise Breisgau-Hochschwarzwald, Emmendingen, Lörrach, Ortenaukreis
- Nördlicher Oberrhein: Landkreise Karlsruhe, Rastatt, Rhein-Neckar-Kreis
- Neckar / Franken: Landkreise Böblingen, Esslingen (Filder), Göppingen, Heidenheim, Heilbronn, Hohenlohekreis, Schwäbisch Hall

Es wurden Fragen zu folgenden Themenbereichen gestellt (s.a. Interview-Leitfaden im Anhang 3):

- Aktuelle Bewässerungssituation in den ausgewählten Regionen
- Handlungsbedarf in Bezug auf Anpassungsstrategien
- Bedarf an Informationen sowie Beratungs- und Planungshilfen

Im Folgenden werden die wichtigsten Rückmeldungen gegliedert nach diesen drei Themenbereichen und den wichtigsten Fragen zusammenfassend dargestellt. Dabei handelt es sich um Fachkenntnisse sowie um persönliche Einschätzungen und/oder Wahrnehmungen der Befragten, ohne dass eine weitere Validierung der Aussagen stattfand.

4.1.1 AKTUELLE BEWÄSSERUNGSSITUATION IN DEN AUSGEWÄHLTEN REGIONEN

- Was hat sich in der Landwirtschaft / Beregnung verändert? Insgesamt zeigt die Auswertung der Befragung, dass Beregnung an Bedeutung deutlich zugenommen hat:
 - Die Vorhersagen zum Bewässerungsbedarf sind - aufgrund größerer Wetter-Variabilitäten und aufgrund einer Zunahme von Wetterextremen - schwieriger geworden.
 - Die beregnete Fläche ist größer geworden.
 - Die beantragten Wassermengen für die Beregnung haben zugenommen.
 - Der Brunnenbau für die Grundwassernutzung zur Beregnung ist weiter vorangeschritten.
 - Der Wasserbedarf z.B. für die Frostschutzberegnung im Obstbau hat zugenommen.
 - Die Anzahl der Kulturen, die bewässert werden, hat zugenommen.
 - Es haben als Reaktion auf die Veränderungen schon Umstellungen in Bezug auf Anbaufrüchte und Betriebsformen stattgefunden.
- Wo kommt das Beregnungswasser her?

Im Oberrheingraben und im Rhein-Neckar-Kreis wird vor allem Grundwasser aus Tiefbrunnen genutzt. In der Region Bodensee kommt das Beregnungswasser zu 80% direkt aus dem Bodensee. Im Bereich Filder stammen 80% des Beregnungswassers aus der öffentlichen Trinkwasserversorgung (Bodenseewasserversorgung). Zusätzlich werden Oberflächengewässer und nur selten Grundwasser genutzt. Im Landkreis Heilbronn werden je nach Standort Grundwasser oder Oberflächengewässer genutzt.

- Welche Kulturen werden bewässert?

Mit nur vereinzelt und standortabhängigen Ausnahmen werden alle Gemüsebaukulturen, Obst (insbesondere Beerenobst) und Wein bewässert. Häufig werden auch (Saat-)Mais und Kartoffeln beregnet, je nach Standort in Trockenphasen auch Winterweizen und Wintergerste. Im Rhein-Neckar-Kreis ist Bewässerung allgemein übliche Praxis: bei allen Gemüse- und allen Ackerbaukulturen besteht nach Aussagen der Befragten in Abhängigkeit von Niederschlagsmenge und -verteilung die Notwendigkeit der Beregnung. Anders sieht es in der Region Stuttgart, insbesondere im Bereich Filder aus: hier werden Lagergemüse, Mais und Tabak aufgrund der eher günstigen Bodenbedingungen in der Regel nicht bewässert.

- Welche Größe weisen die bewässerten Flächen auf und welche Wassermengen werden für die Beregnung benötigt?

In der Gesamtschau zeigt sich, dass es in der Regel keine systematische Erfassung der Wasserentnahmen in Datenbanken gibt und deshalb zu den Gesamtmengen keine sicheren Datengrundlagen vorliegen. Abweichend davon bemühen sich aktuell das Landratsamt Breisgau-Hochschwarzwald sowie das Landratsamt Rhein-Neckar-Kreis um eine Erfassung der Daten. Als eine häufiger genannte Begründung für diesen Mangel an Datenhaltung wurde erklärt, dass die jährlichen Rückmeldungen der landwirtschaftlichen Betriebe zu den tatsächlichen Entnahmemengen für die Bewässerung lückenhaft seien. Überschlägig ist z.B. für den Bereich Südbaden mit einer bewässerten Gemüsebaufläche von 2.500 bis 3.000 Hektar auszugehen. Und für den Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald alleine ist von einer bewässerten Gesamtfläche von 7.200 Hektar auszugehen. Als Förderquoten wurden unterschiedlich große Spannbreiten angegeben, beispielweise für Südbaden zwischen 8.000 und 120.000 Kubikmeter pro Betrieb und Jahr im Gemüsebau und bis zu 600.000 Kubikmeter pro Betrieb und Jahr im Ackerbau.

■ Wie wird bewässert?

Zum einen werden Beregnungsanlagen eingesetzt, die in den Regionen nördlicher Oberrhein und Neckar/Franken im Ackerbau und in größeren Betrieben mit vielen Rotationsflächen eine mobile Trommelberegnung umfassen. Zum anderen kommt in diesen beiden Regionen und am Bodensee aber häufig auch eine statische Rohrberegnung zum Einsatz, insbesondere bei Obst, Gemüse und Erdbeeren sowie in kleineren Betrieben mit wenigen Rotationsflächen. Im südlichen Oberrhein kommen hingegen eher Kreisberegnungsanlagen beim Gemüseanbau zum Einsatz. Eine nicht weiter spezifizierte Fassberegnung wurde nur für die Region am Bodensee genannt. Eine Mikrobewässerung in Form der Tropfbewässerung kommt im südlichen Oberrhein z.B. bei Zucchini, Gurken und Erdbeeren, im nördlichen Oberrhein bei Spargel, Obst und Erdbeeren sowie im Raum Necker/Franken teilweise bei Gurken, Kürbis und Wein zum Einsatz.

4.1.2 HANDLUNGSBEDARF IN BEZUG AUF ANPASSUNGSSTRATEGIEN

Fast übereinstimmend wurde geantwortet, dass zwar nicht von einem Wassermangel, aber auch nicht unbedingt bzw. nicht in allen Fällen von einer nachhaltigen Wassernutzung gesprochen werden könne. Ein Handlungsbedarf wird von den meisten insbesondere aus Nachhaltigkeitsgründen gesehen. Folgende Aspekte sind von Relevanz:

- Es werden Nutzungskonkurrenzen schon aktuell beobachtet oder für die Zukunft erwartet. Zu diesen Nutzungskonkurrenzen zählen die Konkurrenz der Betriebe untereinander bei der Notwendigkeit einer Frostschuttberegnung oder die generelle Konkurrenz bei der Beregnung zwischen Nahrungs- oder Futtermittelanbau und Energiepflanzenanbau. Auch die Konkurrenz der landwirtschaftlichen Beregnung mit privaten Haushalten bei der Nutzung von Trinkwasser oder die Konkurrenz zwischen zu bewässernden landwirtschaftlichen Nutzflächen und Golfplätzen wurden aufgeführt.
- Die befragten Vertreter im Bereich Wasserwirtschaft hoben weitere Aspekte in Bezug auf einen Handlungsbedarf hervor. Dazu gehört der beobachtete Wassermangel bei Oberflächengewässern in Trockenphasen. Insofern gehört die Problematik der Natur- und Gewässerschutzanforderungen bei der Nutzung von Bewässerungswasser aus Oberflächengewässern ebenfalls zu den Nutzungskonkurrenzen. Hier ist es jedoch schon heute so vorgeschrieben, dass bei Unterschreitung bestimmter Gewässerpegel keine Wasserentnahmen für die Bewässerung möglich sind. Über eine irreversible oder nicht nachhaltige Veränderung von Grundwasserständen lagen den Befragten keine Informationen vor. Einzelne Vertreter der Wasserwirtschaft wiesen auf eine in einigen Fällen zu beobachtende Bewirtschaftungsintensivierung durch Beregnung hin, die zu einer verstärkten Nitratauswaschung in das Grundwasser führen könne bzw. führe. Deshalb sei hier ebenfalls ein Handlungsbedarf gegeben.
- Weitestgehend einig war man sich, dass Nachhaltigkeitsprinzipien bei der Bewässerung eingehalten werden müssten. Optionen seien moderne Bewässerungsanlagen, Exaktsteuerung, Tröpfchenbewässerung, Regenwasservorratsspeicher und Fruchtfolgeumstellungen. Auch der Zusammenschluss von landwirtschaftlichen Betrieben zu Beregnungsverbänden wurde als Strategie einer nachhaltigen Wassernutzung angeführt. Außerdem wurde auf den zunehmenden Bedarf an Beratung und Schulung landwirtschaftlicher Betriebe hingewiesen, um eine nachhaltige Bewässerung zu ermöglichen.

4.1.3 BEDARF AN DATEN, INFORMATIONEN SOWIE AN BERATUNGS- UND PLANUNGSHILFEN

- Bedarf an Informationen:
Hier wurden je nach Aufgabengebiet der Befragten sehr unterschiedliche Rückmeldungen gegeben. Während die Befragten aus dem Bereich Wasserschutz oder Wasserwirtschaft eher keinen Informationsbedarf äußerten, hatten die meisten Befragten im Bereich Landwirtschaft zunächst die kurzfristige Bewässerungssteuerung im Blick. Die Antworten reichten von allgemeinen Aussagen wie „bessere Wetterdaten“ bis hin zu der Forderung des Ausbaus des agrarmeteorologischen Netzes des Deutschen Wetterdienstes in Baden-Württemberg. Gerade von Personen, die in der übergebietlichen Bewässerungsberatung tätig sind, wurde die Problematik der Ermittlung des tatsächlichen Bewässerungsbedarfs unter Nachhaltigkeitsaspekten verdeutlicht. Es fehlten Informationen zur Berechnung des Bodenwassergehaltes bzw. der Wasserkapazität des Bodens je nach Jahreszeit und Wetter und damit zusammenhängend Daten zu Bodenarten, Bodenfeuchte und Verdunstung.
- Bedarf an Beratungs- und/oder Planungshilfen und Anforderungen an das BeProBW-Werkzeug:
Hier zeigte sich die Unterscheidung zwischen den Anforderungen bei der kurzfristigen Bewässerungssteuerung und einer längerfristigen Betrachtung deutlicher. Hinsichtlich eines Bedarfs an Beratungs- und Planungshilfen wurde in den Gesprächen zunächst vor allem die kurzfristige Bewässerungssteuerung thematisiert. Hier sind folgende Punkte hervorhebenswert:
 - Wünschenswert sei ein einfaches, preiswertes Gerät zur Bodenmessung, bei dem der Bewässerungsbedarf sofort ablesbar ist.
 - Es wurde darauf hingewiesen, dass das System „Agrowetter“ schon viele Anforderungen erfülle, aber bei der genauen Bestimmung des Startwertes der Verdunstungsrate ungenau sei.Im Zusammenhang mit dem zu entwickelnden BeProBW-Werkzeug wurden im Gespräch Ideen für Anwendungsbereiche entwickelt:
 - Es wurden zwei zentrale Anwendungsbereiche für das BeProBW-Werkzeug gesehen:
 1. Die regionale oder großflächige Ebene zur Abschätzung, in welchen Gebieten und unter welchen Rahmenbedingungen prinzipiell Beregnungsbedarf besteht. Dies könnte zur genaueren Planung z.B. von Großwasserleitungen beitragen.
 2. Die Ebene des einzelnen Betriebs und einzelner landwirtschaftlicher Schläge zur effizienten Wassernutzung.
 - Wichtig seien eine Szenarienbildung zur Abbildung unterschiedlicher Ausgangsbedingungen und Planungsvarianten, die Verknüpfung mit einem Geographischen Informationssystem (GIS), die Rückverfolgung der Beregnungsmengen der vergangenen Jahre und/oder die graphische Darstellung des Beregnungsbedarfs in Farben mit Legende. Außerdem sollte zwischen einem Werkzeug für die Planung und einem Werkzeug für die Bewertung dieser Planung unterschieden werden.

4.2 ERGEBNISSE DES EXPERTEN-WORKSHOPS

Bei dem Workshop wurde das Ziel verfolgt, die Anforderungen der Experten an das Beratungs- und Visualisierungswerkzeug zu sammeln und zu diskutieren. Zunächst stellten die Projektpartner das geplante Projekt und dessen Zielsetzung vor. Anschließend hatten die eingeladenen Experten die Möglichkeit, ihre Vorstellungen und ihren Bedarf in einem moderierten und strukturierten Dialog zu formulieren (Programm siehe Anhang 5). Die Ergebnisse des Expertendialogs wurden dokumentiert und anschließend in Form eines „Anforderungskatalogs“ aufbereitet und mit den Ergebnissen der Interviews zusammengeführt (Anhang 6).

Bei der ersten **Plenumsdiskussion** des Workshops wurden folgende Themen und Fragen von den Teilnehmenden angesprochen:

- **Allgemein:**
 - Welche Ziele verfolgt das Instrument?
 - Es muss darum gehen, den Bewässerungsbedarf darzustellen, aber auch Konkurrenzsituationen mit anderen als den landwirtschaftlichen Wassernutzern.
 - Ist eine Darstellung auf der Ebene eines einzelnen Betriebs möglich?
 - Wie soll das Produkt am Ende aussehen?
 - Wichtig wäre auch, Energieversorger einzubeziehen, weil Energie benötigt wird, um das Wasser dorthin zu transportieren, wo es gebraucht wird.

- **Zeiträume:**
 - Auf welche Zeiträume sollen sich die Prognosen bzw. Szenarien beziehen?
 - Langfristige Vorhersagen über 50 Jahre hinaus werden vor allem von den in der Landwirtschaft oder landwirtschaftlichen Beratung Tätigen als eher schwierig, weniger nützlich und unzuverlässig angesehen.
- **Eingangsparameter**
 - Welche Modellannahmen (z.B. auch Klimamodelle) und Algorithmen stehen hinter den Berechnungen und zu erwartenden Ergebnissen?
 - Wie können die vielen Variabilitäten von Parametern berücksichtigt werden?
 - Die Durchwurzelungstiefe der Anbaupflanzen variiert von Jahr zu Jahr. Wird dies bei der Modellierung berücksichtigt?
 - Bewässerungstechniken und die nutzbare Feldkapazität sind wichtige Einflussfaktoren.
 - Grundwassermodellierungen, die von der LUBW zur Verfügung gestellt werden, sollten bzw. könnten berücksichtigt werden.

Die Diskussion zeigte, dass eine hohe Komplexität zu bewältigen ist und theoretisch eine Vielzahl von Anforderungen an das Instrument gestellt werden könnte. Man einigte sich darauf, dass innerhalb des begrenzten Projektzeitraums deutliche Schwerpunkte gesetzt werden müssen. Es müsse darum gehen, diejenigen Eingangsparameter und Ergebnisdarstellungen ausfindig zu machen, die besonders und/oder besonders genau berücksichtigt werden müssen. Aus der Sicht des Projektteams soll das Werkzeug den allgemeinen Beregnungsbedarf in mittlerer bis ferner Zukunft prognostizieren, jedoch nicht den täglichen Bewässerungsbedarf.

Im Anschluss an diese Plenumsdiskussion fand in **zwei Arbeitsgruppen** die Vertiefung der Diskussion statt. Die Frage an beide Gruppen lautete: Welche Anforderungen sollte BeProBW erfüllen?

- Die **Gruppe A** (Grün, Moderation: B. Malburg-Graf) setzte sich aus Personen zusammen, die als Repräsentanten der verschiedenen Stakeholder-Bereiche (Leitung Landwirtschaftsamt, Vertreter aus den Bereichen Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, LUBW, wasserwirtschaftliche Genehmigung, landwirtschaftliche Bewässerungsberatung) eine interdisziplinäre Sichtweise und auch die Betrachtung einer nachhaltigen Wassernutzung ermöglichen sollten.
- Die **Gruppe B** (Rot, Moderation: N. Billen) setzte sich aus Personen zusammen, die stärker auf der Ebene einzelner landwirtschaftlicher Betriebe arbeiten oder beraten und insofern die Perspektive der landwirtschaftlichen Praxis einnehmen.

4.2.1 ERGEBNISSE DER GRUPPENARBEIT DER GRUPPE A („GRÜN“)

- **Zweck und Adressaten des BeProBW-Instrumentes**
Hinsichtlich Zweck und Adressatenkreis wurden folgende Wünsche der Teilnehmenden benannt:
 - Benötigt wird ein **Planungsinstrument**: es sollte deshalb ein Stammdatenblatt mit Angaben für die jeweilige Kultur enthalten, zusätzlich werden Daten für die nutzbare Feldkapazität, Temperaturen und Niederschlagsmengen benötigt → daraus kann der **Bewässerungsbedarf** zu einer bestimmten Zeit errechnet werden.
 - Außerdem ist damit z.B. die **Planung von Regenwassersammelbecken oder von maximalen Entnahmemengen** durch die Landwirtschaft möglich.
 - Dadurch könnte es auch eine Grundlage für **wasserwirtschaftliche Genehmigungen** bieten.
 - **Abgleich des Wasserbedarfs mit dem Wasserangebot in einem größeren Gebiet (z.B. Landkreis als Planungsebene)**, indem Grundwassermodelle und die Gewässerökologie bzw. Wasserstände von Oberflächengewässern etc. berücksichtigt werden. Damit können Nachhaltigkeitsaspekte einbezogen werden.
 - **Adressaten**: Planung, Genehmigungspraxis, Berater in der Landwirtschaft
- **Erwartungen an die Eingangsparameter**
Generell müssen die Annahmen des Modells in der Modelldokumentation klar beschrieben werden, damit die Anwender wissen, was angeboten wird.
 - Benötigt werden nachvollziehbare Kriterien für wasserwirtschaftliche Erlaubnisse, d.h. der **pflanzenspezifische Wasserbedarf** muss bekannt sein (→ Hier erfolgte eine Hinweis auf ein nicht ge-

nauer benanntes DWA-Merkblatt mit Wasserbedarfszahlen für die wasserrechtliche Genehmigungspraxis für Gartenbau-Kulturen).

- Angaben für die jeweilige Kultur, Daten zur **nutzbaren Feldkapazität**, zu **Temperaturen** und **Niederschlagsmengen**, die zu **erwartende Verdunstungsrate** (Mittelwerte) mit einem Zuschlag für mögliche Trockenperioden, d.h. das Modell sollte von einem mittleren Wert ausgehen und Zuschläge für Extreme berücksichtigen. Es stellte sich die Frage, ob man tagesgenaue Daten bei der Eingabe ins Modell braucht und welche Verdunstungsraten (über Mittelwerte) angenommen werden. Wenn die Transpiration der Pflanze sich im Modell nicht in Abhängigkeit von der Bewässerung dynamisch verändert, sondern grundsätzlich die gesamte Wassermenge transpiriert wird, geht man von einem optimal versorgten Pflanzenbestand aus, womit der Berechnungsbedarf überschätzt wird. Das heißt, es gäbe ein Einsparpotenzial, was unter Nachhaltigkeitsaspekten nicht optimal ist.
- Grundsätzlich bildet der Wasserbedarf der Pflanze die Grundlage. Zusätzlich ist es wichtig, aktuelle Verdunstungsparameter miteinzubeziehen und damit möglichst aktuelle KC-Werte.
- Die **Niederschlagsverteilung** wurde neben der Niederschlagsmenge als ausschlaggebend angesehen. Die Dauer von Trockenperioden kann laut LUBW aus den Klimamodellen entnommen werden. Da hier von einer relativ großen Variabilität auszugehen ist, könnte die bekannte Jahres-Niederschlagsmenge nach unterschiedlichen Mustern verteilt werden, so dass es sich beim Ergebnis nicht um Prognosen, sondern um verschiedene Szenarien handelt.
- Keine Einigkeit bestand in Bezug auf die **Bodenart**, die als Eingangsparameter für die Modellierung auf der Ebene eines Flurstücks interessant sein könnte. Die Bodenart wurde für den Praktiker als eine praktikable Eingangsgröße angesehen, eher als die nFK (nutzbare Feldkapazität).
- Pflanzenbauliche Steuerfaktoren wie z.B. Bodenbearbeitungssysteme, Sortenwahl und Düngungssysteme als Eingabeparameter überschreiten die Möglichkeiten von BeProBW.
- Außerdem sollten **Nachhaltigkeitskriterien** berücksichtigt werden, z.B. aufgrund von **Grundwassermodellen**, d.h. der Wasserbedarf sollte mit dem Wasserangebot in einem Gebiet abgeglichen werden. Auch die **Gewässerökologie** von Oberflächengewässern als begrenzender Faktor ist wichtig.
- **Erwartungen an den Abbildungszeitraum**
Herausgearbeitet wurde die Unterscheidung zwischen dem Projektionszeitraum und dem Modellergebniszeitraum.
 - **Projektionszeitraum:** Orientierung an Klimamodellen bzw. meteorologischen Modellen: bei der LUBW liegen Modelle für die nahe Zukunft (2021-2050) sowie für die ferne Zukunft (2071-2100) vor. Aus der Sicht der LUBW macht ein Bewässerungsbedarfsmodell für die ferne Zukunft 2071 bis 2100 wenig Sinn, weil hier zu große Unsicherheiten enthalten sind. Für wasserrechtliche Erlaubnisse machen 10- bis 15-Jahresschritte Sinn. Ein Zeithorizont von 30 Jahren bietet sich für Investitionsentscheidungen an, während die ferne Zukunft eher als „politische bzw. akademische Spielwiese“ angesehen wird. Wasserversorgungsanlagen amortisieren sich nach etwa 80 Jahren.
 - **Modellergebniszeitraum:** Wasserhaushaltsmodelle für oberirdische Gewässer oder für das Grundwasser basieren auf den Klimamodellen und arbeiten in Bezug auf die Ergebnisdarstellung mit Tagesmittelwerten. Ein Bewässerungsbedarfsmodell könnte darauf aufbauen. Damit wäre es prinzipiell auch möglich den Wasserbedarf mit dem Wasserangebot in Verbindung zu bringen. Als Ergebniswerte sind Tages-, Wochen- und Monatswerte sowie Werte für eine Vegetationsperiode denkbar. Eine Möglichkeit wäre die Aggregation von Tageswerten zu Wochenwerten, welche als sinnvollste zeitliche Auflösung angesehen wurden. Die Projektionsauflösung sollte flexibel gestaltet werden; sie sollte verschiedene kumulative Ebenen haben – je nachdem, was man mit dem Modell machen möchte.
- **Erwartungen an den Bezugsraum**
Hinsichtlich des räumlichen Werkzeugbezuges wurden eingangs Fragen gestellt wie etwa: Wer sind die Nutzer des Instruments? Oder: Wird es für die Landkreise genutzt – reicht es dann, den Landkreis abzubilden? Vermutlich werden verschiedene Stufen der Abbildung benötigt: eine Ebene für Berater und Betriebe und eine Ebene für den Planer, der größere Räume überblicken muss. Die Gruppe kam zum Ergebnis, dass man das relativ flexibel handhaben sollte, da die Akteure unterschiedliche Ansprüche haben aber:
 - Eine Aussage für ein größeres Gebiet / eine Region, vorzugsweise für einen Landkreis sollte möglich sein
 - Für die landwirtschaftliche Beratung bzw. den einzelnen Landwirt ist das Flurstück die wichtigste räumliche Bezugsgröße

■ **Erwartungen an die Ergebnisdarstellung**

Die Ergebnisdarstellung sollte möglichst flexibel gestaltbar sein, da es unterschiedliche Ansprüche gibt.

- Grundsätzlich ist für einzelne Eingabeparameter als auch für die Ergebnisdarstellung das Arbeiten mit **Szenarien** entscheidend. Hier stellte sich in der Diskussion die Frage nach dem richtigen Umgang mit Szenarien. Wichtig seien ein mittleres Szenario sowie zwei Extremszenarien. Von der Darstellung her sollte es ein Verlaufsdiagramm sein, in dem alle drei Szenarien nebeneinander abgebildet sind. Bewässerungsbedarfsverläufe sollten für verschiedene Szenarien dargestellt werden. Je nach Anwendungsfall kann man sich dann für ein passendes Szenario entscheiden. Zum Beispiel sollte ein Regenwasser-Sammelbecken eher nach einem mittleren Szenario als zusätzlicher Puffer (etwa zusätzlich zum Grundwasser) und nicht nach einem Worst-Case-Szenario geplant werden.
- Verschiedene **Fruchtfolgen** sollten durchbilanziert werden. Bei der Planung durch den Landwirt geht es z.B. um die Frage: Was bewirkt eine Fruchtfolgeveränderung? Steigt der Bewässerungsbedarf oder steigt er nicht?
- **Ergebnistabellen** mit Minimal- und Maximal-Werten sind ebenso wünschenswert wie zusätzliche graphische Darstellungen.
- Die **Quantität des Bewässerungsbedarfs** sollte **in Karten** dargestellt werden, indem skalierte Daten vom Zusatzwasserbedarf bis zum Wasserüberschuss in Graustufen oder farblich unterschieden werden (Bildung quantitativer Klassen).

Wichtige Ausgabeparameter sind also: der Zusatz-Wasserbedarf, die Größe der zu bewässernden Fläche (z.B. wenn man 10 Prozent mehr Kartoffeln anbaut, wie viel mehr Fläche müsste dann beregnet werden?) sowie die verschiedenen Szenarien, die mit dem Ist-Stand verglichen werden können.

4.2.2 ERGEBNISSE DER GRUPPENARBEIT DER GRUPPE B („ROT“)

Die Diskussion erfolgte entlang von acht Themenbereichen und einem zusätzlich eingeführten neunten Themenbereich „Zeitliche Ebene“:

■ **Nutzer**

- Ggf. für große Landwirtschaftsbetriebe
- Kaum für kleine Landwirtschaftsbetriebe
- Berater/Planer der Landratsämter, speziell Landwirtschaft und Wasserwirtschaft
- Wasser-/Energieversorger, Berechnungsverbände, denn diese müssen auch Spitzenverbräuche abdecken können
- Insgesamt weniger für Praktiker als für Planer/Ämter etc.
- Spezialberater z.B. für Obstbau fühlen sich weniger angesprochen

■ **Räumliche Ebene**

- Flurstücke (Interessant für Landwirte) bis hin zu
- Landesebene (Interessant für Fachämter)
- Auch in größeren Räumen denken, d.h. beispielsweise schauen, welche Aktivitäten und Lösungen in anderen Bundesländer bestehen

■ **Zeitliche Ebene**

- Betriebs-/Bewässerungsinvestitionen werden für 10- bis maximal 25-jährige Zeiträume vorgenommen. Daran sollten sich auch die Prognosen orientieren.
- Wer seinen Standort kennt, kann auch den Bedarf für die nächsten 10 Jahre abschätzen. Planungen darüber hinaus sind kaum betriebsrelevant.
- Landwirtschaft plant nicht auf 5 Jahre, sondern längerfristig (für „längerfristige Anbauplanung“)

■ **Planung**

- In Landratsämtern, z.B. für Genehmigungen mit fiktivem Bewässerungsplan zur Schätzung der notwendigen Bewässerungsmengen → Umstieg von der bisher individuellen Schätz-Praxis auf zumindest halbquantitatives Standardverfahren incl. „Klimawandelzuschlag“
- Landratsamt Emmendingen verfügt über Bewässerungsplan (für die Gegenwart)
- Vielerorts übersteigt der Anbau bewässerungsbedürftiger Feldkulturen den Ausbau Bewässerungs-Infrastruktur → hier sollte das Werkzeug bei der Beantragung von Fördermengen für die Bewässerung hilfreich sein

- Hinweise für Erzeuger/Wasserverbraucher darauf, wann und wo zukünftig Brunnen beantragt und gebaut werden müssen
- Für Landwirte zwecks zusätzlichem Wasserbedarf
- Auch vor dem Hintergrund alternativer Anbauplanungen wie etwa vermehrte Sonderkulturen
- Berücksichtigung / Integration des Bedarfs von Zusatzwasser z.B. für
- Frostschutz (kann zeitlich begrenzt hohen Wasserverbrauch und somit auch Wasserknappheit verursachen)
- Förderung des Saat-/Pflanzgut-Aufgangs
- Feldkulturen, die bisher bewässerungsuntypisch waren wie z.B. Kohl
- Spitzen-Verbrauchswerte prognostizieren
- Hinweise darauf, welche Feldkulturen zukünftig auf welchem Standort angebaut werden können

- **Funktionalität**
Neben den o.g. Planungsaspekten:
 - Ausweisung von Wasservorräten („Wünschelruten-App“), d.h. Antwort auf die Fragen:
„Woher bekomme ich Wasser?“
„Wo gibt es genug?“
 - Wasserbedarf für ausgewählte Kulturen (auch Sonderkulturen) ausweisen
 - Kühlungsfunktion/-potenzial darstellen, auch vor dem Hintergrund der Wirtschaftlichkeit von Gewächshäusern in 10 Jahren
 - Auch Durchschnittstemperaturen darstellen, um Planungshinweise zu erhalten, wo was angebaut werden kann
 - Szenarienwahl und Darstellung, so dass der zunehmende Bewässerungsbedarf verdeutlicht und somit politischen Zielen und Entscheidungen dient; auch vor dem Hintergrund regionaler Ernährung.
 - Differenzierung zwischen Beregnung ja/nein genügt, denn Verbrauchsunterschiede zwischen den technischen Verfahren sind kaum relevant (siehe bei „Technik“).
 - Wechselwirkungen mit anderen Faktoren berücksichtigen wie etwa vermehrte Nitratauswaschung durch zunehmende Bewässerung (wird z.T. angezweifelt)
 - Verbesserte und kleinräumigere Wettervorhersagen (Hinweis der Moderation: ist positiv für tägliche Bewässerungsbedarfsvorhersagen, was aber nicht Ziel des Werkzeugs ist - siehe anfänglichen Konsens)

- **Kulturanpassung**
 - Der vermehrte Anbau trockenresistenter Pflanzen und/oder Sorten könnte zu einem verringertem Bedarf an Beregnungswasser führen
 - Besondere der Weinbau ist betroffen, da es wirtschaftlich hierbei häufig um Alles oder Nichts geht
 - Der zukünftige Anbau von alternativen Kulturen wie etwa Pfirsich oder Kiwi ist denkbar, sofern es keinen Frost mehr gibt und genügend Wasser verfügbar ist, zumal regionale Produkte häufig gerne gekauft werden
 - Ggf. Förderung von alternativen Feldkulturen

- **Wasservorrat**
 - Derzeit genügend Wasser vorhanden, vornehmlich aus Brunnen/Grundwasser und Oberflächengewässer
 - Engpässe in Trockenperioden sind teilweise problematisch
 - Genehmigungen für Wassernahmen erteilen die Landratsämter, allerdings ohne Berücksichtigung von Standortverhältnissen.

- **Verbrauchsspitzen**
Es besteht weitgehend Konsens darüber, dass Aussagen zu Wasserverbrauchsspitzen („Worst-Case“) erforderlich sind. Diese sind abhängig von Klimafaktoren etc. wie etwa:
 - Maximale Verdunstung mit Bezug zu Wind, Temperatur etc. die heute häufigeren Extremen unterliegen
 - Temperaturen über 28°C: da steigt der Beregnungsbedarf stark an,
 - Relative Luftfeuchte unter 30%, die früher seltener erreicht wurden

- Inzwischen werden alle 3 Jahre Wetterextreme und mithin Verbrauchsspitzen wahrgenommen, und nicht alle 10 Jahre, so wie häufig publiziert. Auf entsprechende Daten des Deutschen Wetterdienstes wird hingewiesen.
- Auch auf inzwischen vermehrte Ozonschäden wurde hingewiesen, jedoch mit unklarem Bezug zum Bewässerungsbedarf.

Verbrauchsspitzen auch abhängig von kulturtechnischen Maßnahmen wie:

- Aufwandsmengen für Vor-/Anbewässerung, z.B. bei Kartoffelpflanzung oder sonstiger Aussaat
- Aufwandsmengen für Frostschutzberegnungen (etwa 2,2 mm/h)
- Durchwurzelungstiefe

■ **Bewässerungstechnik**

- Verschiedene Untersuchungen ergaben kaum eine Wasserersparnis der Tropf- gegenüber der Kopfberegnung (sofern die Kopfberegnung entsprechend der guten fachlichen Praxis erfolgt).
- Die Erfahrung zeigt allerdings häufig eine geringere Verdunstung der Tropf- gegenüber der Kopfberegnung mit entsprechend höherem Wasserbedarf
- Der Wasserverbrauch bei Kopfberegnung über Tag erhöht sich merklich gegenüber über der bei Nacht.
- Der Energieverbrauch bei Tropfberegnung ist niedriger als bei Kopfberegnung
- Im Obstbau ist der Wasserbedarf bei Kopfberegnung in der Regel höher als bei Tropfberegnung
- Bei hochwertigen Kulturen wie Beerenobst ist die Tropfberegnung vorherrschend. Teilweise finden aber auch die die Tropfbewässerung zur Ernährung und Kopfberegnung zur Kühlung parallel statt, z.B. im südlichen Oberrhein („unten ernähren, oben kühlen“). Bei Kopfbewässerung steigt jedoch das Risiko einer Pilzinfektion.
- Bestimmte Kulturen können nur auf bestimmte Art bewässert werden. So ist etwa die Tropfberegnung für Ackerbaukulturen keine Option oder bei Karotten ist nur Kopfberegnung möglich. In (unbenannten) Einzelfällen können mit einer Tropfbewässerung aber Einsparungen erzielt werden.
- In mediterranen Anbaugebieten (z.B. Spanien, Israel) werden in einzelnen Betrieben auch unterschiedliche Techniken nebeneinander eingesetzt, um jeweils das Optimum zu erzielen

4.3 ERGEBNISSE EINER UNIVERSITÄREN LEHRVERANSTALTUNG

Das BeProBW-Prognoseinstrument wurde im Rahmen des Vorlesungsmoduls „Bewässerungstechnik für Nahrungs- und Energiepflanzen“ unter der Rubrik aktueller Forschungsprojekte an der Universität Hohenheim am 30.01.2018 von Sebastian Bechtold und Klaus Spohrer den Studierenden vorgestellt und. Nach der Präsentation und einer Einführung in die Funktionen wurden die Studierenden aufgefordert, das BeProBW-Prognoseinstrument hinsichtlich Handhabung und Funktionalität zu bewerten und Anregungen zur weiteren Entwicklung zu geben. Dabei konnten die Studierenden auch selbst Simulationen in Verbindung mit einem Link vornehmen. Folgende Anmerkungen und Anregungen wurden gegeben:

- Grundsätzlich wurde das Instrument in seiner Funktion und Zielsetzung sehr positiv aufgenommen und als sinnvolles Instrument der Bewässerungsplanung erkannt.
- Um die Ergebnisdarstellung transparenter zu machen wurde vorgeschlagen in der graphischen Darstellung des Bewässerungsbedarfes, die Regenmengen auf die Wochen verteilt zu ergänzen.
- Die Verteilung der Regentage beeinflusst deutlich die simulierte Bewässerungsmenge. Das wurde von den Studierenden erkannt und diskutiert. Die Erweiterung von Bewässerungsszenarien durch Variation der Verteilung von Regentagen wäre hier wünschenswert.
- Die simulierten Bewässerungsszenarien mit Ergebnissen sollten speicherbar und wieder aufrufbar sein.
- Das Instrument wurde als wertvolles Instrument für Investitionsplanungen auf regionaler bzw. betrieblicher Ebene bezeichnet.
- Die Verknüpfung mit GIS-Programmen wäre wünschenswert.
- Das BeProBW-Programm wäre ebenfalls ein sehr geeignetes Instrument, um die Vorteilhaftigkeit von Aufforstungen in bestimmten Regionen zu bewerten.

4.4 ERGEBNISSE DES PRAXISTESTS

Nach einer intensiven Entwicklungsphase durch das Projektteam lag im Februar 2018 ein Prototyp des Werkzeugs BeProBW vor, das zusammen mit Praktikerinnen und Praktikern getestet wurde. Dies geschah im Februar 2018 in Kooperation mit dem Landwirtschaftsamt Heilbronn im Rahmen eines Workshops. Dazu wurden Beraterinnen und Berater sowie Landwirte eingeladen. In kleinen Gruppen von ca. 3 Personen konnten diese das webbasierte Instrument an Rechnern testen und dabei eigene Daten eingeben, um die Funktionsweise des Instruments und die Plausibilität der Ergebnisse zu überprüfen. Neben dem Projektteam nahmen 13 Personen an dem Praxistest teil, darunter 5 Landwirte. Diese Form der Beteiligung stieß auf sehr gute Resonanz unter den Teilnehmenden und hat zur Verbesserung des Prognoseinstruments beigetragen. Folgende Aspekte wurden von Teilnehmenden eingebracht:

1. Fragen

- Kann auch die Frostschutzberechnung mit dem Instrument geplant werden? Vorschlag: evtl. die Frostschutzberechnung im Modell als eine eigene Anbau-Kultur behandeln
- Inwieweit ist auch der Worst-Case, nämlich ein Dürre-Szenario, abbildbar?
- Inwieweit können individuell ganz unterschiedliche Herangehensweisen und Gestaltungsformen von Bewässerung (auch je nach Kultur unterschiedlich) durch das Instrument abgebildet werden? (z.B. häufiger kurz bewässern oder seltener mehr Wasser geben)
- Wie flexibel und offen ist das Instrument für unterschiedlichste Modellannahmen?
- Ist die Anzahl der Trockentage pro Monat im Modell hinterlegt?
- Inwieweit ist der Zusammenhang zwischen der Qualität einer Frucht und der benötigten Wassermenge berücksichtigt?
- Berücksichtigt das Programm, wie viel Wasser für welches Wuchsstadium der Pflanze benötigt wird?

2. Allgemeine Verbesserungsvorschläge und Anregungen

- Es wäre wichtig, den Wasserbedarf benutzerdefiniert selbst eingeben zu können, ohne dass das System bestimmte Werte vorgibt
- Das Programm sollte einen Kalibrierzeitraum vorsehen: Niederschlagsdaten und die Bewässerungsdaten der letzten Jahre sollen die Berechnungsbasis kontinuierlich verbessern
- Die bisher vorgesehenen 25m²-Kacheln sind zu groß. Es sollte möglich sein, die Größe der Kacheln regionsspezifisch anzupassen (s. z.B. DWD-Karte)
- Die nutzbare Feldkapazität sollte niedriger gesetzt werden können
- Es sollte eine weitere Spalte für die Zusatzbewässerung – nicht nur eine für Startbewässerung – geben
- Wichtig ist auch eine Notiz- oder Begründungsfunktion
- Bei jeder Anbaukultur wird die Zusatzinfo benötigt, wie hoch der zusätzliche Bewässerungsbedarf ist
- Die Auflösung der Bodenkarte könnte höher sein
- Zur besseren Orientierung im Raum sollte das Orthofoto hinterlegt werden können
- Das Ergebnis sollte auf dem eigenen Rechner speicherbar sein
- Das Prognoseinstrument sollte über eine Plattform wie die LEL Schwäbisch Gmünd bekannt und zugänglich gemacht werden
- Dringend erforderlich ist größtmögliche Transparenz in Bezug auf die getroffenen Annahmen und Daten, die dem Modell und dem jeweiligen Ergebnis zugrunde liegen

3. Plausibilität der Ergebnisse

- Bei einigen Tests ergab sich im Endergebnis, dass keine Bewässerung erforderlich sei, was nicht plausibel erscheint (z.B. Kartoffeln).
- In anderen Fällen, z.B. bei den Kulturpflanzen Zucchini, Kopfsalat, Winterweizen, Zuckermais, Knollensellerie und Lauch im Testgebiet Jagsthausen scheinen die Ergebniswerte plausibel zu sein.
- Hingegen kann ein Bewässerungswert von 0 bei Mais in der Rheinebene nicht stimmen
- Zur Plausibilisierung der Ergebnisse könnten evtl. Versuchsdaten der LTZ verwendet werden

4. Bedienbarkeit

- Die Bedienbarkeit ist gut und einfach
- Es gelingt nicht immer, auf den Ausgangszustand vor der Durchführung einer Rechnung zurückzukommen

5. Allgemeines Feedback

- Es ist generell sehr zu begrüßen, dass wir mitarbeiten durften
- In vielerlei Hinsicht ist ein Bedarf für dieses Instrument gegeben, z.B. auch im Falle der Zupachtung von weiteren Flächen durch einen Betrieb
- Es sollte zu einem Expertensystem werden, das durch Erweiterung der Datenbasis im System laufend verbessert wird
- Es sollte nun eine Test- und Verbesserungsphase von ca. 1 Jahr geben, um das Instrument dann über Plattformen verfügbar zu machen

4.5 FAZIT AUS DER BEFRAGUNG UND DER BETEILIGUNG VON AKTEUREN

Generell zeigte sich – vor allem bei den telefonischen Interviews –, dass die Unterscheidung zwischen einem Instrument zur täglichen Bewässerungssteuerung und dem geplanten Instrument zu einer längerfristigen, auf Szenarien beruhenden Bewässerungsprognose nicht leicht kommuniziert werden konnte. So sahen diejenigen eine Perspektive, die eher mit langfristigen Planungen, Beratungen und Genehmigungen in Wasserwirtschaft und landwirtschaftlicher Bewässerung zu tun haben. Insbesondere dieser Personen- und Institutionenkreis erkannte die Möglichkeiten des geplanten Instrumentes, sodass hier eine Lücke geschlossen werden kann.

Demgegenüber stellte sich heraus, dass insbesondere bei den Akteuren aus der landwirtschaftlichen Praxis, die vor allem auf betrieblicher Ebene denken und arbeiten, eine gewisse Skepsis gegenüber dem Nutzen des geplanten Instrumentes vorherrschte. Tenor war, dass möglichst genaue Wetterprognosen das Wichtigste und die schon vorhandenen Instrumente ausreichend seien. Allerdings stellte sich auch heraus, dass gerade auch Anbauberater häufig angefragt werden, den Bewässerungsbedarf längerfristig zu beurteilen, sodass auch sie damit eine Zielgruppe für das Planungswerkzeug sein können. Die anfängliche Skepsis wich deshalb auch im Laufe des Prozesses von den ersten Kontaktaufnahmen über die Interviews bis hin zum Experten-Workshop einem Erkennen, für welche Anwendungen, Anliegen und Fragen das Planungswerkzeug geeignet sein könnte.

Der angestoßene Kommunikationsprozess führte insofern:

- zu einer Verdeutlichung dessen, was das Planungswerkzeug letztendlich aus der Sicht des Projektteams leisten kann,
- zu einem großen Fundus an Informationen über die Anforderungen von Praktikern aus den verschiedensten Bereichen der landwirtschaftlichen Bewässerung und
- zu einer genaueren Vorstellung darüber, wie sich das aus Sicht des Projektteams im Projektzeitraum Machbare mit den Anforderungen potenzieller Anwender in Einklang bringen lassen kann (s.a. Anhang 6).

4.6 AKTEURSGRUPPEN UND POTENZIELLE ANWENDER

Die verschiedenen Kontaktaufnahmen, Interviews und Dialogveranstaltungen haben ein insgesamt breites Interesse an BeProBW ergeben. Die Möglichkeit zur Beteiligung wurde begrüßt, insbesondere auch von den beteiligten Landwirten. Die sicherlich am stärksten interessierte Akteursgruppe stellen die Personen dar, die in der landwirtschaftlichen Beratung tätig sind. Auch wenn die kurzfristige Bewässerungssteuerung für diese Personengruppe prinzipiell im Vordergrund steht oder für einen Teil dieser Gruppe noch bei Projektbeginn im Vordergrund stand, zeigte sich im Laufe des Projektes eine zunehmende Sensibilisierung für mittel- bis langfristige Berechnungsplanungen, die zum Beispiel Investitionen in zukünftig erforderliche Brunnen und Wasserleitungen betreffen und mit dem BeProBW-Instrument besser durchgeführt werden können.

In der landwirtschaftlichen Beratung sind die Zuständigkeiten je nach Region ganz unterschiedlich organisiert, sodass es zum Teil übergebietliche oder auch für einen Landkreis zuständige Beraterinnen und Berater für die Bereiche Beregnung sowie für Ackerbau, Gartenbau, Gemüsebau, Obstbau, Kartoffelanbau und für den Weinbau gibt. Bei letzterem zeigte sich in erster Linie ein Interesse am Thema Frostschutzberegnung. Im Bereich Ackerbau ist das Interesse bisher noch weniger ausgeprägt als im Garten- und Gemüsebau. Neben der Resonanz in der Landwirtschaft zeigte sich auch ein Interesse im Bereich Wasserschutz, da hier die Zuständigen für die wasserrechtlichen Genehmigungen für die Wasserentnahme aus Oberflächengewässern und Grundwasser angesiedelt sind. BeProBW könnte dazu beitragen, dass wasserrechtliche Genehmigungen auch durch einen sukzessiven Aufbau von Datenbanken mit allen Daten zu Wassermengen und Entnahmestellen in Zukunft mit einer größeren Nachhaltigkeit durchgeführt werden können. Prinzipiell zeichnet sich ab, dass das Interesse an den von BeProBW aufgezeigten Lösungen bei klimawandelbedingten Veränderungen zukünftig sowohl in der Landwirtschaft als auch im Wasserschutz zunehmen wird. Beim Praxistest im Landwirtschaftsamt Heilbronn wurde auch das Interesse von – möglicherweise besonders fortschrittlichen - landwirtschaftlichen Betrieben deutlich.

Schon zu Beginn des Projektes stellten sich Schwerpunktregionen heraus, in denen Beregnung schon heute eine große Rolle spielt und die deshalb auch für eine nähere Betrachtung im Projekt herangezogen wurden. Die Recherche nach möglicherweise interessierten Beregnungsverbänden, also Zusammenschlüssen von landwirtschaftlichen Betrieben, die ihre Beregnung gemeinsam organisieren, bestätigte, dass Beregnung bisher nur in bestimmten Teilen Baden-Württembergs eine größere Rolle spielt. Die Kontaktaufnahme mit den Landwirtschaftsämtern in Baden-Württemberg ergab folgendes Bild für die 35 Landkreise: in 6 Landkreisen gibt es Beregnungsverbände und in 22 Landkreisen gibt es keine. In 7 Landkreisen war dies bei Projektabschluss unklar, weil die endgültigen Rückmeldungen ausblieben, die Daten aus Datenschutzgründen nicht weitergegeben oder die Bemühungen auf Seiten des Projektteams eingestellt werden mussten. Die Landkreise mit bestätigten Beregnungsverbänden sind: Bodenseekreis, Breisgau-Hochschwarzwald, Emmendingen, Göppingen, Hohenlohekreis und Main-Tauber-Kreis. Die Kreise, bei denen dies noch abschließend überprüft werden müsste, sind: Alb-Donau-Kreis, Esslingen, Heilbronn, Karlsruhe, Konstanz, Lörrach und Rhein-Neckar-Kreis.

5 Modelle, Methodik und Daten für das Planungswerkzeug

5.1 MODELLWAHL

Die klimatische Wasserbilanz ist ein mathematischer Ansatz zur Abschätzung der Wassergehaltsänderungen im Boden auf Basis gemessener Klimagrößen. Da Wassergehaltsabnahmen im Boden den Wasserbedarf der Pflanze widerspiegeln und Klimaprognosen langfristige Wetteränderungen vorhersagen, kann durch die klimatische Wasserbilanzierung optimal der Einfluss unterschiedlicher Klimaprognosen auf den Pflanzenwasserbedarf abgeschätzt werden. Die besondere Eignung der Klimatischen Wasserbilanz zur Wasserbedarfs- und somit Bewässerungsprognose wird auch durch die Tatsache reflektiert, dass die Klimatische Wasserbilanz für nahezu alle wichtigen Feldfrüchte untersucht wurde und somit alle benötigten Daten (kc-Werte) zur Verfügung stehen. Das Schema zur Berechnung des Bewässerungsbedarfs mit dem BeProBW-Prognosewerkzeug in Abbildung 3 dargestellt.

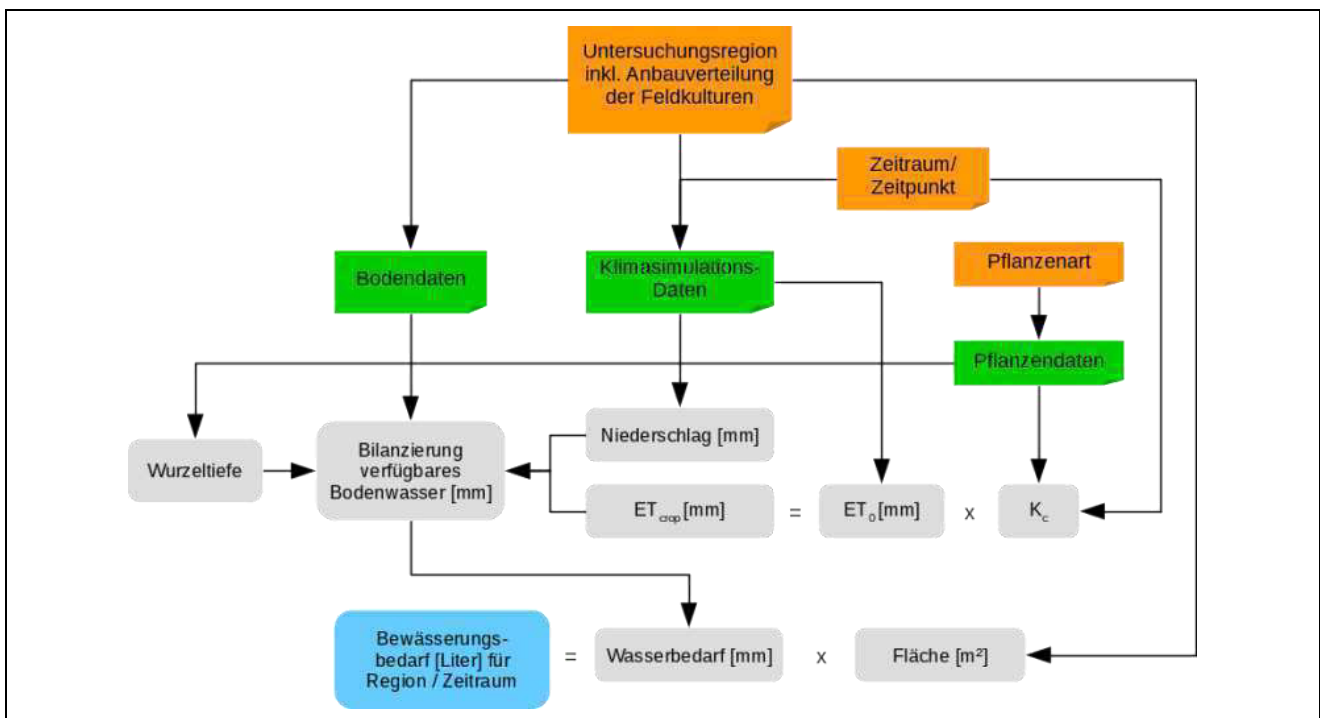


Abbildung 3: Schema zur Berechnung des Bewässerungsbedarfs im BeProBW-Prognosewerkzeug (Orange = Nutzereingaben, Grün = hinterlegte Pflanzen- und Bodenkennwerte, grau = interne Berechnungen, blau = Ergebnis)

Zentrales Element bei der Bewässerungsprognose ist die Abschätzung des potenziellen Wasserverbrauchs der Pflanze (potenzielle Evapotranspiration – ETcrop) durch Multiplikation einer potenziellen Referenzevapotranspiration (ETo) mit dem pflanzenspezifischen Korrekturwert kc. Diese kc-Werte können der Literatur (z.B. Geisenheimer Bewässerungssteuerung von Hochschule Geisenheim (2017)) entnommen werden, während für die Berechnung von ETo die Daten der Klimasimulationen herangezogen werden. In einem zweiten Schritt wird der Bodenwassergehalt auf Basis von Entzug (ETcrop) und Zufuhr (Niederschlag der Klimasimulationen) bilanziert. Bewässerungsbedarf ist dann gegeben, wenn infolge Wasserentzugs der Bodenwassergehalt einen vorher definierten Schwellenwert unterschreitet (siehe Kapitel 5.2). Der quantitative Bewässerungsbedarf für eine Region und einen bestimmten Zeitraum ist schließlich die aufsummierte Menge an

Wasser, die innerhalb des bestimmten Zeitraums zugeführt werden muss, um ein Absinken des Bodenwassergehalts unter den Schwellenwert durchgängig zu verhindern.

Das Bewässerungsplanungssystem „Agrowetter Beregnung“ vom DWD (2017) basiert ebenfalls auf einer täglichen Bodenwasserbilanzierung. Der Aufbau des BeProBW-Instruments auf diese Plattform wäre aber zumindest während der Entwicklungsphase nicht zielführend gewesen, weil das Ziel von „Agrowetter Beregnung“ nur relativ kurzfristige Tagesvorhersagen sind und keine mittel- bis langfristigen Prognosen. Zudem sind Kennwerte von den Böden in das Programm einzugeben, die auf Betriebsebenen schlagspezifisch bewässert werden sollen. Im Rahmen von BeProBW sollen aber auch großflächige Bedarfsberechnungen ohne spezielle Bodenkenntnisse möglich sein, so dass „Agrowetter Beregnung“ keine brauchbare Option im Rahmen der BeProBW-Ziele bietet.

Ein weitere Alternative zur Berechnung des Bodenwasserhaushaltes bietet das auf Landesebene bereits etablierte Modellsystem LARSIM (Bremicker 2000). Bei diesem werden mehrere meteorologische Messgrößen und Bodenkennwerte dem Modellsystem zugeführt, um den Bodenwasserhaushalt auch in engen Zeitschritten zu kennzeichnen. Potenziell könnte somit die Einbindung von LARSIM-Ergebnissen eine verbesserte Charakterisierung des Bodenwasserhaushaltes ergeben. Zuvor müsste dieses theoretische Potenzial jedoch mittels verschiedener Beispielrechnungen evaluiert werden. Weiterhin müssten dann in einem aufwändigen Arbeitsprozess spezielle Programmschnittstellen zur Kopplung von LARSIM und dem BeProBW-Instrument entwickelt werden, denn die Architekturen und Arbeitsplattformen beider Programme weisen gravierende Unterschiede. Im Rahmen der verfügbaren BeProBW-Ressourcen konnten diese Ansätze jedoch nicht umgesetzt werden.

5.2 DATENBEDARF UND -VERFÜGBARKEIT

Der Datenbedarf für die Wasserbedarfsrechnungen im BeProBW-Prognosewerkzeug ist in Tabelle 2 zusammengefasst. Bei den Daten selbst muss unterschieden werden zwischen solchen mit Raum- und längerfristigem Zeit-Bezug (Klimakennwerte), mit räumlichem Bezug (Bodenkennwerte) und mit relativ kurzfristigem Zeit-Bezug (Pflanzenkennwerte). Dabei stammen die Kennwerte aus unterschiedlichen Quellen.

Tabelle 3: Übersicht zu Datenbedarf und –verfügbarkeit für die Wasserbedarfsrechnungen im BeProBW-Prognosewerkzeug (o.B. = ohne Bedeutung)

Kennwert	Quelle	Verfügbarkeit Gegenwart / Zukunft	Verfügbare zeitl. Auflösung Jahr / Monat / Tag	Verfügbare räuml. Auflösung
Niederschlag [l/m^2]	LUBW	Ja / Ja	Ja / Ja / Nein	25-km-Raster (z.T. 7-km-Raster)
Potentielle Verdunstung (Eo) [l/m^2] n. Penman (errechnet aus den verfügbaren Kennwerten zum Niederschlag und zur klimatischen Wasserbilanz)	LUBW	Ja / Ja	Ja / Ja / Nein	25-km-Raster
Mittlere Trockenperiodenlänge je Vegetationsperiode [Anz. Tage]	LUBW	Ja / Ja	Ja / Nein / Nein	25-km-Raster
Maximale Trockenperiodenlänge in einem Jahr [Anz. Tage]	LUBW	Ja / Ja	Ja / Nein / Nein	25-km-Raster
Niederschlagsfreie Tage im Jahr [Anz. Tage]	LUBW	Ja / Ja	Ja / Nein / Nein	25-km-Raster
Pflanzenspezifischer Verdunstungsfaktor (kc-Werte) [dimensionslos]	HS Geisenheim	Ja / Nein	3-4 Wachstumsstufen/Pfl., d.h. ca. 1,5-3 monatlich	o.B.
Nutzbare Feldkapazität (nFK vom Bodenprofil) [l/m^2]	LGRB	Ja / o.B.	o.B.	1:50.000
Bodengründigkeit [dm]	LGRB	Ja / o.B.	o.B.	1:50.000
Wasser Verfügbarkeit für Pflanzen [= nFK-Faktor für Untergrenze der Wasser Verfügbarkeit und Obergrenze der Wasserzufuhr in %]	fachliche Praxis, bestätigt durch Expertenschätzung	Ja / o.B.	o.B.	o.B.
Wurzeltiefen von Wachstumsstadien [dm]	IGZ 2007 (f. Gemüsebau) FAO (Allen et al 1998, f. Ackerbau)	ja / Nein	Wochen (f. Gemüsebau) Jahres-Maximum (f. Ackerbau)	o.B.
Kulturpflanzenverteilung (für landesweite Prognosen)	Statistisches Landesamt	Ja/ Nein	Ja / Nein / Nein	Landkreise

5.2.1 KLIMA – KENNWERTE UND AUFLÖSUNG

Die Klimakennwerte, die im Prognosewerkzeug hinterlegt werden, sind Ergebnisse aus den umfangreichen Ensemble-Modellierungen der LUBW (2013, nachrichtl. Mitt.) mit bis zu 20 Klimamodellen. Sie liegen für Südwestdeutschland in einem 110 Punkte umfassenden Raster mit einer räumlichen Auflösung von 25x25 km vor. Die verfügbaren Projektionszeiträume umfassen bei allen Kennwerten:

- die Gegenwart (1971-2000)
- die nahe Zukunft (2021-2050)
- die ferne Zukunft (2071-2100)

Die zentralen Klimakenngrößen kennzeichnen die Wasserbilanz und sind die **potenzielle Evaporation** nach Penman sowie die **Niederschlagssummen**. Die Evaporation wurde aus der klimatischen Wasserbilanz und den Niederschlagssummen berechnet (Niederschlag – klimat. Wasserbilanz = pot. Evaporation), da keine Primärdaten zur Evaporation verfügbar waren. Die modellierten Werte für die Niederschläge und die klimatische Wasserbilanz liegen monatsweise vor. Der Verlauf dieser beiden Kennwerte ist für zwei repräsentative Klimaprojektionspunkte, die auch Grundlage für die Plausibilitäts- und Testrechnungen im Rahmen von BeProBW sind, ist in Abbildung 4 exemplarisch dargestellt.

Weitere Kenngrößen sind sog. Trockenheitsindizes. Sie beschreiben auf unterschiedliche Weise den Umfang niederschlagsfreier Zeiträume, in denen ein verstärkter Bewässerungsbedarf aufgrund der fehlenden Niederschläge besteht:

- Durchschnittliche Dauer von Trockenperioden in der Vegetationsperiode (Mai bis September), d.h. Anzahl an zusammenhängenden Tagen, bei denen pro Tag unter 1 mm Niederschlag fällt
- Die längste Dauer einer Trockenperiode pro Jahr, d.h. maximale Anzahl an zusammenhängenden Tagen, bei denen pro Tag unter 1 mm Niederschlag fällt.
- Die Anzahl der Tage in einem Kalenderjahr mit einem Niederschlag <1 mm / Tag je Kalenderjahr.

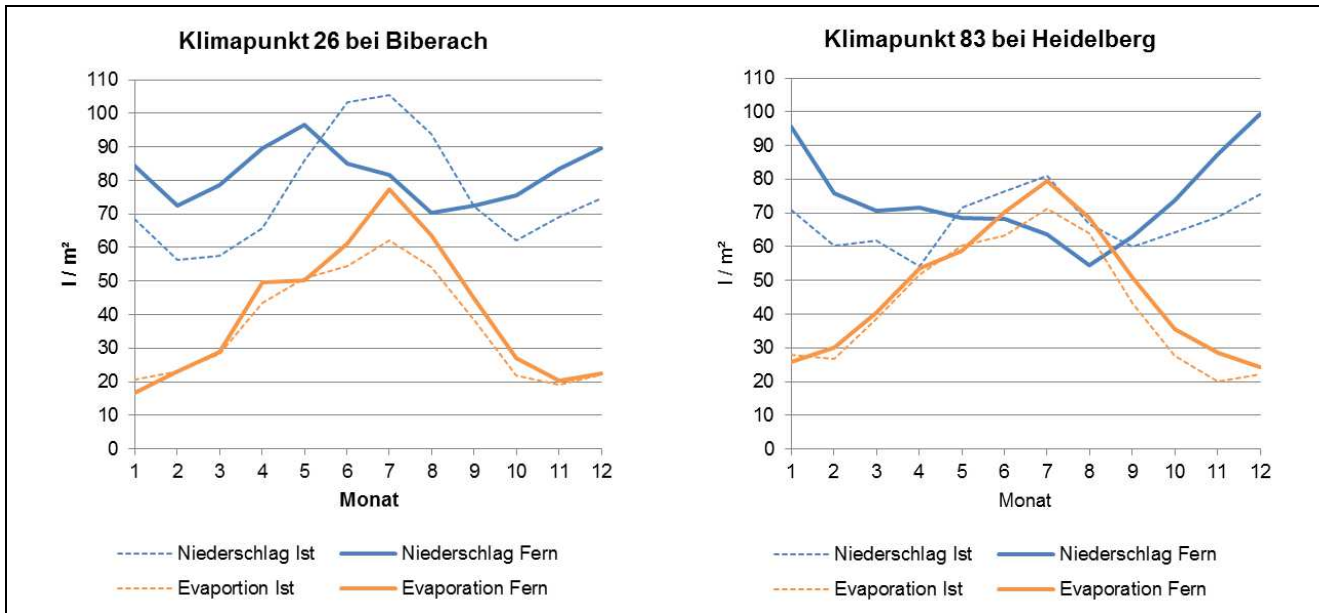


Abbildung 4: Verlauf jährlicher Niederschlagssummen und Evaporationsraten (n. Penman) am Beispiel von zwei ackerbaulich repräsentativen Klimaprojektionspunkten in der Gegenwart („Ist“) und in der fernen Zukunft („Fern“)

Die generelle Bedeutung der Klimaentwicklung auf den zukünftigen Beregnungsbedarf wird bei der regionalen Zusammenfassung der anzuwendenden Kennwerte erkennbar. So ist im ungünstigen Fall eine Reduktion der Klimatischen Wasserbilanz als integrierender Kennwert für die Entwicklung der Niederschläge und Evaporation von rund 150 l m^{-2} nicht auszuschließen (siehe Abbildung 5).

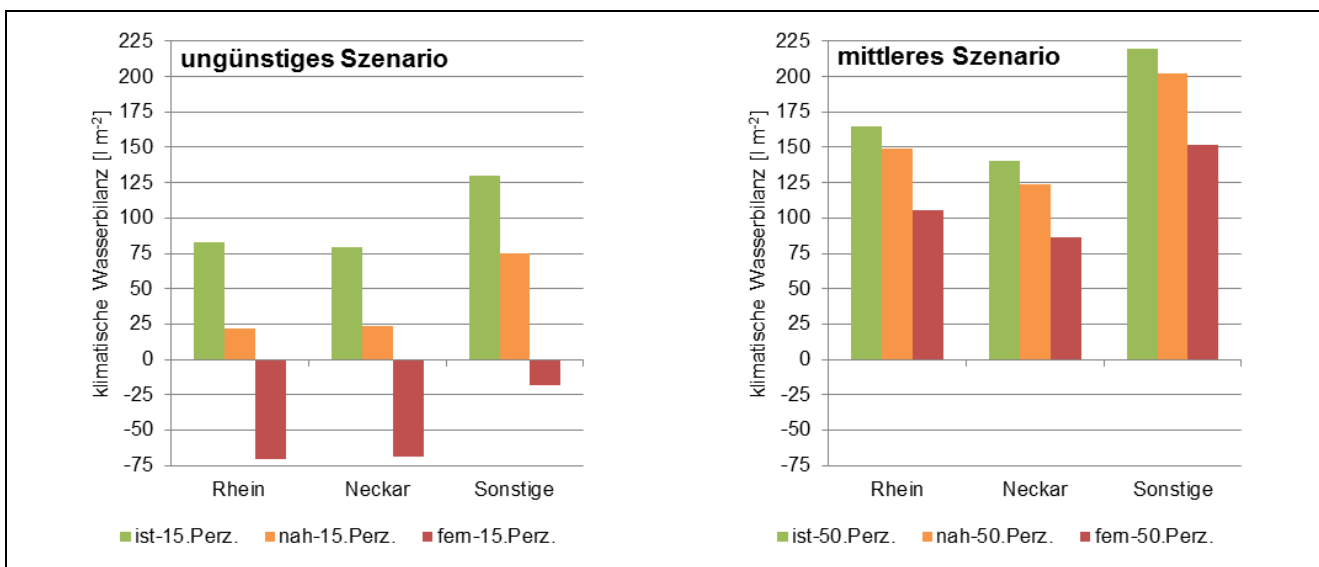


Abbildung 5: Mögliche Entwicklung der klimatischen Wasserbilanz als integrierender Kennwert von Niederschlag und Evaporation nach Penman aus den Klimaprojektionen der LUBW (2013). Dargestellt sind die gemittelten Summenwerte von den Klimaprojektionspunkten in den Schwerpunktregionen für die Hauptvegetationsperiode von April bis Oktober (Details siehe Anhang 9).

Die Auswirkungen, d.h. der Wasserbedarf wäre in den Untersuchungsregionen Rhein/Bodensee und Neckar gegenüber den sonstigen Landesteilen besonders gravierend, weil in diesen Regionen die klimatischen Wasserbilanzen gegenwärtig höchstens geringe Überschüsse wenn nicht sogar Defizite aufweisen (siehe Abbildung 6).

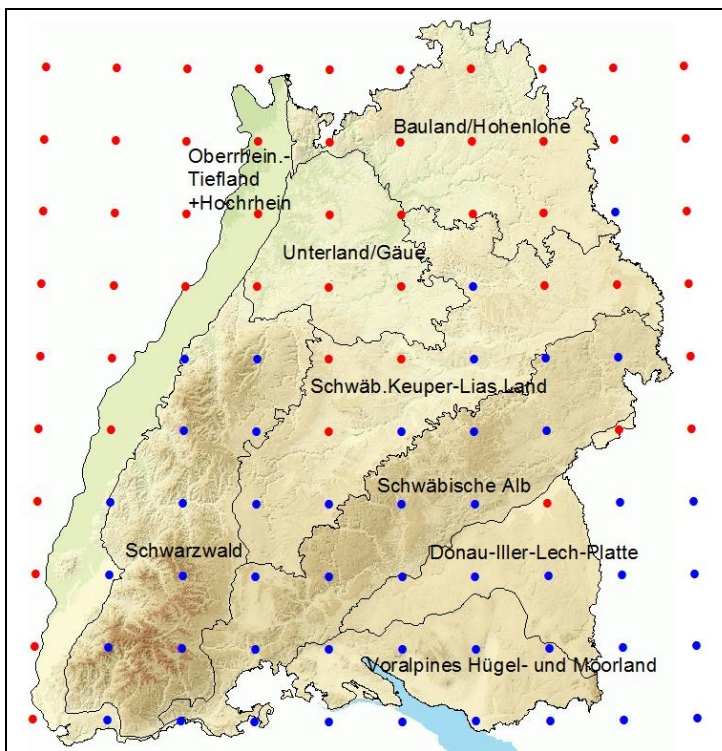


Abbildung 6: Projektion der Klimatischen Wasserbilanz für die nahe Zukunft (2021-2050) beim ungünstigen Szenario (15. Perzentil der Ensemblemodellierungen nach LUBW 2013) mit roten Klimaprojektionspunkten, falls $<20 \text{ l m}^{-2}$ und mit blauen Punkten, falls $>20 \text{ l m}^{-2}$ in der Vegetationsperiode (April-Oktober)

Die modellierten Trockenheitsindizes (LUBW 2013) differenzieren weniger stark zwischen den ausgewählten Regionen (siehe Abbildung 7). So sind zwar im ungünstigsten Fall am meisten niederschlagsfreie Tage und die längsten niederschlagsfreien Perioden in der Region Rhein/Bodensee zu erwarten, aber gegenwärtig besteht bereits die gleiche Abfolge Rhein/Bodensee > Neckar > Sonstige. Zukünftig wird also landesweit gleichermaßen das „Trockenheitsniveau“ höher liegen (vgl. Anhang 10). Weil das Risiko eines Wasserdefizits für Pflanzen maßgeblich von der „maximalen Trockenperiodenlänge“ abhängig ist, wurde schließlich dieser Kennwert als baden-württembergischer Durchschnitt aus den 110 Klimaprojektionspunkten in das BeProBW-Berechnungsinstrument integriert. Dieser Kennwert ist zwischen 1 Tag und 28 Tagen frei wählbar. Zur Orientierung an Extremereignisse, die gemäß Interviews und Workshop eine herausragende Bedeutung bei der Bewässerungsplanung haben, werden dem Nutzer für die Gegenwart 19 Tage, für die nahe Zukunft 22 Tage und für die ferne Zukunft 24 Tage vorgeschlagen (siehe Anhang 10).

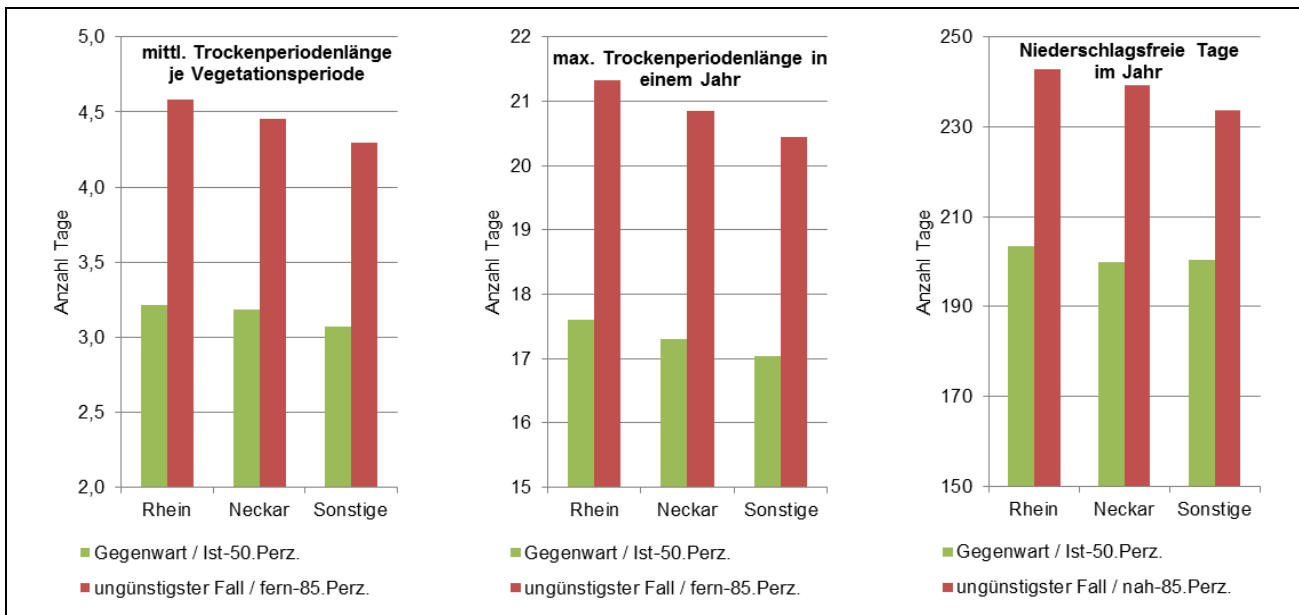


Abbildung 7: Ausgewählte Trockenheitskennwerte aus den Klimaprojektionen der LUBW (2013 und nachr. Mitt.). Dargestellt sind die gemittelten Werte von den Klimaprojektionspunkten in den Schwerpunktregionen, im BeProBW-Berechnungsinstrument werden dem Nutzer Extremereignisse vorgeschlagen (Details siehe Anhang 10).

5.2.2 BODEN – KENNWERTE UND MAßSTAB

Wesentliche Bodenkennwerte für die Wasserbilanzrechnungen sind die nutzbare Feldkapazität und die Gründigkeit der Böden im Betrachtungsraum. Die entsprechenden Daten wurden für die Kartiereinheiten der Bodenkarte 1:50.000 vom LGRB-BW zur Verfügung gestellt. Dabei handelt es sich um Mittelwerte innerhalb der einzelnen Kartiereinheiten, die in der Realität gewissen Schwankungen unterliegen, da in einer Kartiereinheit zumeist verschiedene Bodentypen mit unterschiedlichen Eigenschaften vorkommen. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Kartiereinheiten werden jedoch abgebildet, wie im Beispiel der Abbildung 8 erkennbar ist, bei dem die Abhängigkeit des tatsächlich verfügbaren Wassers für die Pflanzen von der nutzbaren Feldkapazität des Bodens bei 60 % (= Bewässerungsstartwert) und der Wurzeltiefe bei den Böden im Programmentwicklungsraum bei Heidelberg (siehe Abbildung 12) dargestellt ist. Die exemplarischen Einzelwerte für 100 %ige Sättigung der nFK, für die angenommene Frühjahrssättigung bei 90 %, für den Bewässerungsstartwert bei 60 % der nFK und den Bewässerungsendwert bei 80 % der nFK sind im Anhang 12 aufgelistet.

Um das tatsächlich pflanzenverfügbare Wasser im tatsächlich durchwurzelten Bodenraum mit dem BeProBW-Werkzeug zu berücksichtigen und um zu vermeiden, dass bei den Wasserbilanzrechnungen die Wurzeltiefen die Bodengründigkeit überschreiten, findet die Berechnung des pflanzenverfügbaren Wassers wie folgt statt (Beispiel siehe Anhang 12):

$$\text{nFK im Wurzelraum [l/m}^2\text{]} = (\text{nFK aus BK50 [l/m}^2\text{]} / \text{Gründigkeit aus BK50 [dm]}) \times \text{Wurzeltiefe [dm]}$$

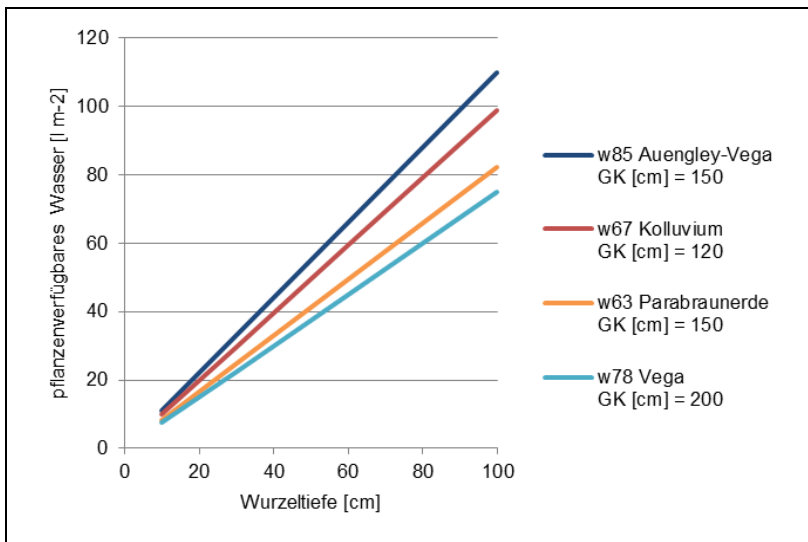


Abbildung 8: Beispiel zur Abhängigkeit des tatsächlich verfügbaren Wassers für die Pflanzen von der nutzbaren Feldkapazität des Bodens bei 60 % (= Bewässerungsstartwert) und der Wurzeltiefe bei den Böden im Programmentwicklungsraum bei Heidelberg

Mit der Bodenkarte 1:50.000 liegen auch die erforderlichen Informationen zur Verteilung unterschiedlicher Bodeneigenschaften im Sinne von Bodentypen innerhalb der Kartiereinheiten vor. Das BeProBW-Werkzeug nimmt dementsprechend eine Gewichtung der Flächenanteile im ausgewählten Betrachtungsraum nach dem in Abbildung 10 skizzierten Beispiel vor. Aufgrund der mittleren Maßstabsgröße der Bodenkarte nimmt allerdings die Unsicherheit bei der nutzbaren Feldkapazität mit abnehmender Größe des Betrachtungsraums, d.h. zunehmendem Betrachtungsmaßstab zu.

In der Tabelle 4 sind beispielhaft die relevanten Eigenschaften von typischen Böden mit hoher und niedriger nutzbarer Feldkapazität im Umkreis der repräsentativen Klimaprojektionspunkte zusammengefasst, die für die Plausibilitäts- und Testrechnungen (siehe Kapitel 7) mit dem BeProBW-Prognoseinstrument verwendet wurden.

Tabelle 4: Kennzeichnung typischer Böden unter pflanzenbaulicher Nutzung mit hoher und niedriger nutzbarer Feldkapazität (nFK) im Umkreis der beiden repräsentativen Klimapunkte bei Biberach (Nr. 26) und Heidelberg (Nr. 83).

Klima- punkt	Boden- einheit der BK50	Verbreiteter Bodentyp	Vorherr- schende Bo- denart	Mittlere nFK in l/m2	Mittlere Grün- digkeit in cm
26	t47	Parabraunerde und Pseudogley-Parabraunerde aus Lösslehm-Fließberden	Uls bis Lu	219	150
	t58	Parabraunerde aus würmeiszeitlichem Terrassenkies	Slu bis Ls2	113	150
83	w85	Brauner Auenboden aus Auenlehm	Ut3 bis Lu	275	150
	w63	Parabraunerden aus älteren Hochwassersedimenten	Ls3 bis Tu3	206	150
	w29	podsolige Braunerden aus Niederterrassenschottern	S bis Slu	70	100

5.2.3 KULTURPFLANZEN –KENNWERTE, ARTEN UND FRUCHTFOLGEN

Die erforderlichen **Pflanzenkennwerte** von 20 Feldkulturen, die z.T. weiter aufgliedert wurden nach Früh-, Sommer- und Herbstanbau, sind im Prognosewerkzeug, mit Kulturzeiten und Wurzeltiefen hinterlegt (siehe Anhang 14). Die einzelnen Pflanzenarten können vom Anwender ausgewählt und in eine Fruchtfolge je Anbaujahr mit bis zu drei hintereinander folgenden Kulturen beliebig kombiniert werden (näheres siehe Kapitel 6.2.1). In den Interviews und im Workshop wurden insgesamt 29 Feldkulturen benannt, bei denen bereits gegenwärtig bzw. zukünftig ein verstärkter Bewässerungsbedarf gesehen wird (siehe Tabelle 5). Die Kennwerte zu den entsprechenden Gemüsearten wurden vom IGZ (2007), das bis zu 41 Arten des Gemüse-

baus ausweist, und zu den Ackerbaukulturen von der FAO (Allen et al. 1998) in das BeProBW-Werkzeug überführt.

Tabelle 5: Feldkulturen, bei denen bereits gegenwärtig bzw. zukünftig ein verstärkter Bewässerungsbedarf auf Basis der Interview- und Workshop Ergebnisse besteht. In Fettdruck gesetzt sind die Feldkulturen, die eine hohe Priorität besitzen und deshalb im BeProBW-Instrument integrierten wurden.

Ackerbau- und Dauerkulturen	Gemüsebaukulturen
Erdbeere Getreide (Winter, Sommer) Hopfen Kartoffeln Mais (Saat-, Körner-, Zucker-) Obst (Stamm-, Beeren-) Raps Sonnenblume Spargel (Ertrag, Neuanlage) Tabak Weinbau Zuckerrüben	Auberginen ¹⁾ Blumenkohl ²⁾ Chinakohl ²⁾ Feldsalat (Frühsommer, Herbst, Winter) Fenchel (Knolle) Gurken (Einlege) Karotten / Möhren Kopfsalat (Früh, Standard) Kürbis (Saat) Lauch / Porree Paprika ¹⁾ Radieschen Rettich Sellerie (Knolle) Tomaten ¹⁾ Weißkohl Zucchini ²⁾ Zwiebeln

1) gegenwärtig noch vorrangig im Gewächshaus

2) nicht genannt in Interviews/Workshop, trotzdem relevant z.B. im Raum Heilbronn (Praxistest)

Zur pflanzenspezifischen Korrektur der potentiellen Evaporation nach Penman aus den Klimaprojektionen (LUBW 2013) werden **kc-Werte**, die durch die Hochschule Geisenheim empirisch für südwestdeutsche Feldfrüchte und Klimabedingungen bestimmt wurden und in regelmäßigen Abständen aktualisiert werden, verwendet (Geisenheimer Bewässerungssteuerung für Penman-Verdunstung von Hochschule Geisenheim (2017), s.a. Kapitel 2.2). Die kc-Werte für dort fehlende Feldkulturen wurden aus dem FAO Drainage Paper No.56 von Allen et al. (1998) bzw. dem FAO-CropWat (Smith 1992) entnommen.

Die korrigierenden kc-Werte beziehen sich auf die jeweiligen Entwicklungsphasen der einzelnen Pflanzenarten. Im Berechnungswerkzeug wird durch zeitliche Interpolation eine lineare Größenänderung des kc-Werts während der Pflanzenentwicklung und -reife realisiert (Beispiel siehe Abbildung 9). Um für die in der Penman-kc-Tabelle (Hochschule Geisenheim 2017b) fehlenden Feldkulturen auch Penman-kc-Werte im BeProBW-Instrument hinterlegen zu können, wurde eine Interpolation zwischen den von der Hochschule Geisenheim (2017a, 2017b) gelisteten kc-Penman-Werten und kc-FAO-Werten vorgenommen. Dabei ergab sich ein Faktor von 0,74 mit dem dann ein kc-FAO-Wert zu multiplizieren ist, um auf den kc-Penman-Wert zu kommen (siehe Anhang 13).

Die **Wurzeltiefen** der Feldkulturen während des Anbauzeitraumes in den einzelnen Wachstumsphasen sind von großer Bedeutung für die Kalkulation des für die Pflanze zur Verfügung stehenden Wassers sind neben den Bodeneigenschaften wie nFK und Gründigkeit. Die Daten für die Gemüsekulturen wurden der Schriftenreihe des IGZ - Düngung im Freilandgemüsebau (2007) entnommen und zur Verwendung im Planungswerkzeug aufgearbeitet. Die wachstumsspezifischen Wurzeltiefen für die Ackerkulturen wurden einer FAO-Datenbank (CropWat von Smith (1992)) entnommen. Ebenso wie bei den kc-Werten werden im Planungswerkzeug durch zeitliche Interpolation eher fließende Größenänderungen der Wurzeltiefen bei der Pflanzenentwicklung realisiert (Beispiel siehe Abbildung 9).

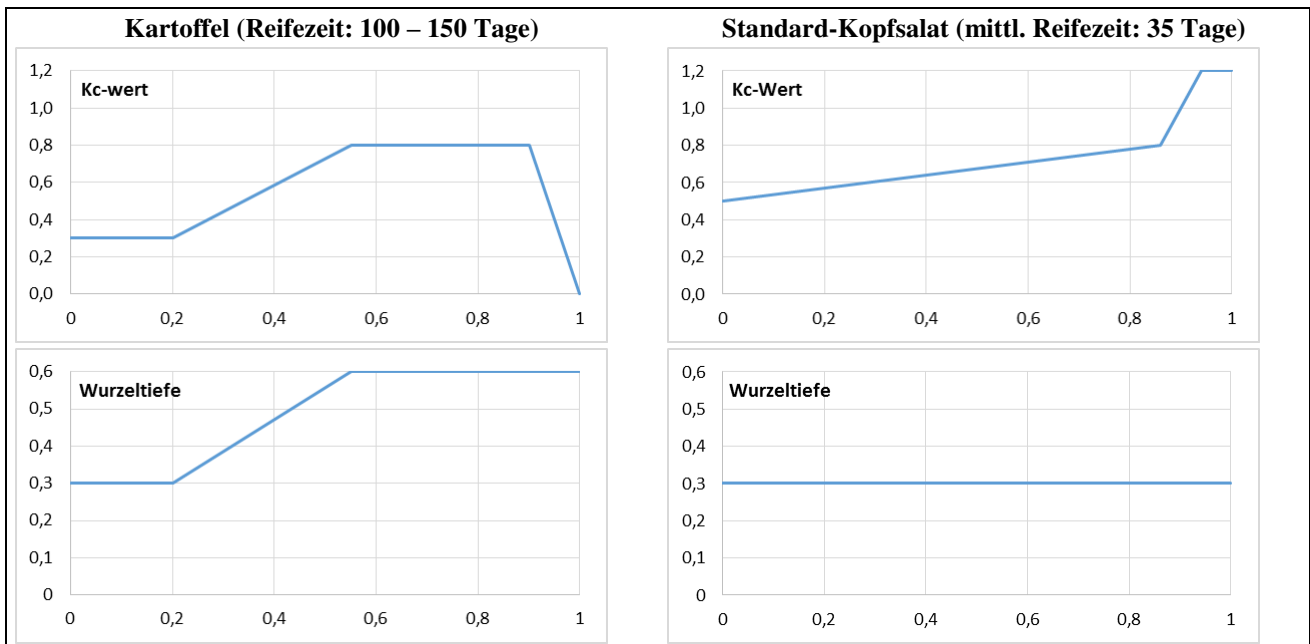


Abbildung 9: Beispiel für die Interpolation der gestuften kc-Werte nach Hochschule Geisenheim (2017) und der Wurzeltiefen bei Standard-Kopfsalat nach IGZ (2007) bzw. bei Kartoffel nach Smith (1992) in Abhängigkeit der Pflanzenentwicklung (Angaben: Zeit = Relativ, kc-Wert = Relativ, Wurzeltiefe =Meter)

Die Berücksichtigung **unterschiedlicher Feldkulturen in unterschiedlicher Abfolge** auf unterschiedlichen Böden im Auswahl- bzw. Betrachtungsraum erfordert eine differenzierte Erfassung mit dem Prognosewerkzeug. Deshalb ist im Rahmen von jeder Anbaufolge im Betrachtungsraum zunächst der Anbauumfang in Hektar und die Anbaudauer der ausgewählten Kulturpflanzen anzugeben. Im Folgenden wird dann vom Werkzeug automatisch der relative Umfang jeder einzelnen Anbaufolge auf die Bodentypen verteilt, die im Betrachtungsraum vorliegen (Beispiel siehe Abbildung 10). Dadurch entstehen programmintern sog. Anbaufolgen-Bodentyp-Einheiten, für die dann wochenweise der Bewässerungsbedarf in Abhängigkeit der örtlichen Klimaerwartungen und Bodenkennwerte sowie weiteren Nutzereingaben berechnet und für den Betrachtungsraum aufsummiert werden.

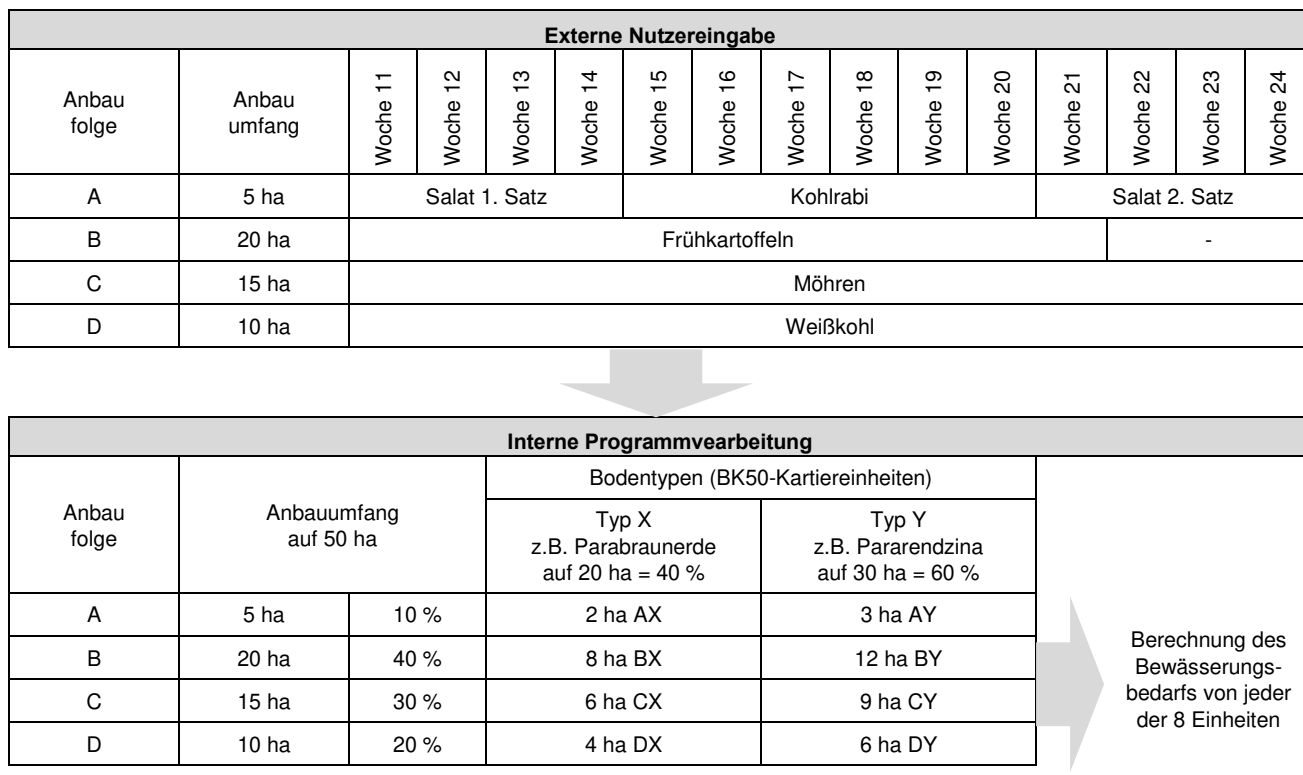


Abbildung 10: Beispiel für die Erfassung der Anbauverteilung von Feldkulturen im Prognosewerkzeug für einen ausgewählten Betrachtungsraum und die interne Programmverrechnung unter Berücksichtigung unterschiedlicher Bodenverhältnisse (Angabe der Wachstumswoche als Kalenderwoche, die vom Prognosewerkzeug auf Basis des Saat-/Pflanztermins und der Vegetationsdauer automatisch berechnet wird)

6 Technischer Rahmen des Planungswerkzeugs

6.1 SYSTEMARCHITEKTUR, PROGRAMMIERSPRACHEN UND SOFTWAREKOMPONENTEN

Das im Rahmen des Projekts entwickelte Prognosewerkzeug wird als Webanwendung gemäß dem Dreischichten-Modell aufgebaut (Benutzeroberfläche, Anwendungslogik, Datenbestand, siehe Kapitel 2.3).

Der Datenbestand ist beim Prototypen in einfachen Dateien verschiedener Formate (v.a. XML und ESRI Shapefile) hinterlegt. Ein dediziertes Datenbanksystem wie PostgreSQL kommt derzeit aus Praktikabilitätsgründen nicht zum Einsatz, ist jedoch bei einem weiteren Ausbau der Plattform in Zukunft realisierbar.

Die Anwendungslogik (d.h. der Programmcode zur Durchführung der eigentlichen Prognoseberechnungen) ist als sogenannter Webdienst in der Programmiersprache Java implementiert. Unter einem Webdienst versteht man eine Verallgemeinerung des Konzepts der Website, bei dem Daten nicht in Form von (für menschliche Interaktion ausgelegten) HTML-Dokumenten, sondern in einfacher strukturierten, auf maschinelle Lesbarkeit optimierten Formaten wie XML oder JSON abgefragt werden können.

Die Kommunikation mit einem Webdienst erfolgt wie auch bei gewöhnlichen Websites über das HTTP-Protokoll, als Client-Anwendung können neben Webbrowsern jedoch auch Programme (z.B. eine GIS-Anwendung) verwendet werden.

In der Softwarearchitektur des BeProBW-Prognosewerkzeugs erfolgt der Zugriff auf den Webdienst durch die im Webbrowser laufende Client-Anwendung, wobei die zurückgelieferten „Rohdaten“ von der Clientanwendung für die nutzerfreundliche Darstellung aufbereitet werden.

Die Client-Anwendung ist in der Programmiersprache TypeScript (eine Erweiterung von JavaScript) unter Verwendung der Bibliothek Vue.js zur einfachen Erstellung von webbasierten Benutzeroberflächen geschrieben. Der TypeScript-Code wird von einem Compiler in gewöhnlichen JavaScript-Code übersetzt, welcher schließlich vom Browser ausgeführt wird.

Im Vergleich zu gewöhnlichem JavaScript ermöglicht die Verwendung von TypeScript dank leistungsfähiger Spracherweiterungen das Schreiben von hochwertigerem Programmcode (bessere Strukturierung, weniger Fehler) bei gleichzeitig kürzerer Entwicklungszeit.

6.2 FUNKTIONSWEISE

Ein Simulationslauf ist definiert als eine Sammlung von Parametern (gewähltes Klimamodell, Untersuchungsgebiet, simulierte Fruchtfolge etc.). Diese Einstellungen werden von der/dem Nutzer/in über die webbasierte Client-Anwendung eingegeben. Nach Eingabe aller Parameter werden diese als Simulationsauftrag an den Webdienst gesendet. Dieser führt die definierte Simulation unter Verwendung der hinterlegten Grundlagedaten (Klimamodell, Bodendaten etc.) durch und sendet das Ergebnis zurück an den Web-Client, wo es in verschiedenen Darstellungsformen (z.B. Tabellen, Diagramme, interaktive Web-Karte) visualisiert wird.

Aufgrund der klaren technischen Trennung zwischen Webdienst und Benutzerschnittstelle (Client) ist für die Zukunft auch eine Integration der Funktionalität in eine Desktop-GIS-Anwendung wie ESRI ArcGIS oder QGIS realisierbar.

6.2.1 PROGRAMMZUGANG

Das Prognoseinstrument ist als Betaversion unter der webadresse „<http://94.130.142.96/beprobw/>“ aufrufbar und wird über das Eingangsfenster gestartet (siehe Abbildung 11). Weil die zukünftige Programmzuständigkeit und –verortung noch ungeklärt ist, ist der Zugang auf dem aktuellen Webserver **vorläufig befristet bis zum 30.11.2018**.



Abbildung 11: Eingangsfenster des webbasierten BeProBW - Prognoseinstruments

6.2.2 EINGABE DER MODELLPARAMETER

Bei den Modellparametern für einen Simulationslauf wird unterschieden zwischen Daten, die dauerhaft auf dem Simulationsserver hinterlegt sind und Daten, die von der/dem Nutzer/in eingegeben werden. Dauerhaft hinterlegte Daten sind:

- die Klimaprojektionen der LUBW (2013) in Form eines 25x25-km-Rasters mit monatlichen Niederschlagswerten und den Verdunstungswerten nach Penman, errechnet aus den verfügbaren Werten zum Niederschlag und zur klimatischen Wasserbilanz.
- Kennwerte in Abhängigkeit der Wachstumsstadien von den hinterlegten Kulturpflanzen zur Verdunstung und zum Wurzeltiefenwachstum in Form einer XML-Datei (siehe Anhang 14).
- Eine Vektorkarte (Shapefile) der Ackerflächen im Testgebiet mit Durchschnittswerten zur die nutzbaren Feldkapazität in Abhängigkeit vom Bodentyp.
- Die Ausdehnung der Ackerflächen basiert auf der CORINE Land Cover – Klassifikation, so dass in dem Prognosewerkzeug Grünland, Wald oder Siedlungsstandorte ausgeschlossen sind.

Von der/dem Nutzer/in eingegebene Daten sind

- Das Untersuchungsgebiet (Flächenbegrenzung als Polygeometrie)
- Der gewählte Klimaprojektionszeitraum (Gegenwart, nahe Zukunft, ferne Zukunft) und die Anzahl der maximal aufeinanderfolgenden Trockentage mit orientierenden Angaben für Extremphasen in den drei Projektionszeiträumen.
- Kulturpflanzen (Pflanzenarten, individuell einstellbare Anbauzeiträume bzw. Reifezeiten, Bewässerungsmerkmale), deren Kulturabfolge in einer Vegetationsperiode sowie deren jeweilige Anbaufläche im Betrachtungsraum.

Für jede dieser drei Kategorien von nutzerdefinierbaren Eingabedaten gibt es in der Webanwendung eine separate Unterseite, die über die Symbolleiste am linken Fensterrand aufgerufen werden kann. Dabei handelt es sich zum einen um die Unterseiten „**Untersuchungsgebiet**“, „**Klima**“, „**Feldkulturen und Feldkulturabfolgen**“ (Details siehe Kapitel 0).

Während der Eingabe der Simulationsparameter durch die/den Nutzer/in informiert die **Statusleiste** am oberen Rand des Anwendungsfensters fortlaufend über ungültige Einstellungen. Sobald die Simulationseinstellungen korrekt sind in dem Sinne, dass sie aus technischer Sicht einen erfolgreichen Durchlauf der Simulation ermöglichen, wird in der Statusleiste eine Schaltfläche eingeblendet, mit der das eingegebene Szenario an den BeProBW-Webdienst übermittelt und die Simulation gestartet werden kann. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass - abgesehen von elementarsten Grundregeln wie z.B. die zeitliche Nicht-Überschneidung der Anbauzeiten innerhalb einer Kulturfolge – keine automatische fachliche Plausibilisierung der Eingaben vorgenommen wird. Die Eingabe realistischer Simulationsparameter liegt in der Verantwortung des/der Nutzer/in.

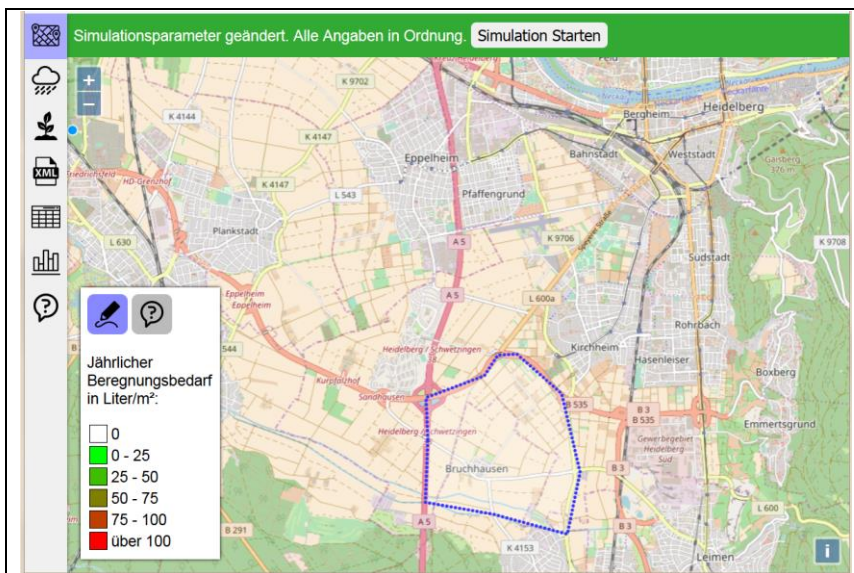


Abbildung 12: Screenshot von der Option zur Abgrenzung, d.h. Festlegung eines frei wählbaren Simulationsgebietes (hier ein Testareal südlich von bei Heidelberg)



Abbildung 13: Screenshot von der Option zur Auswahl des Klimazeitraums und der maximalen Abstände der Regentagen (= maximale Dauer von Trockenphasen)

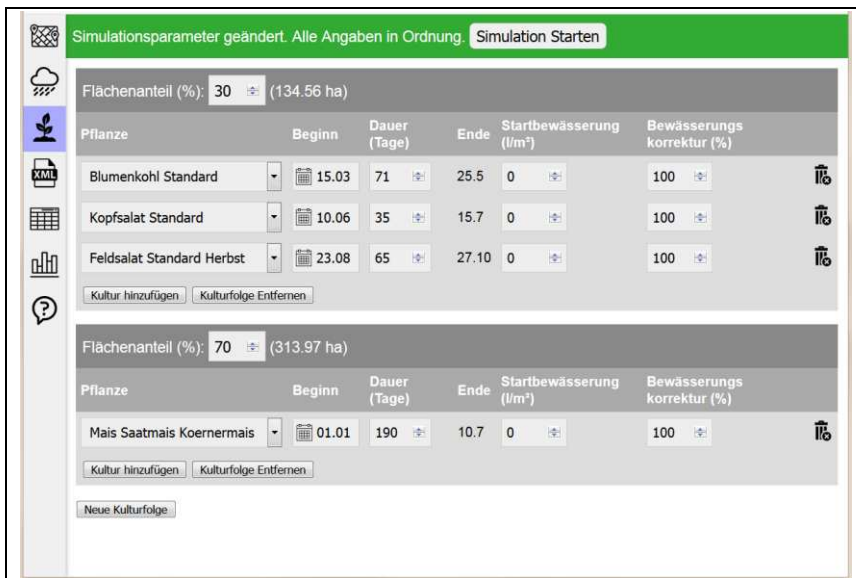


Abbildung 14: Screenshot zur Auswahl der Feldkulturen, der Festlegung von Feldkulturabfolgen und weiterer Kennwerte zur Vegetationsdauer sowie Bewässerungsmerkmale

6.2.3 DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE

Nach Abschluss der Simulation werden die Berechnungsergebnisse vom BeProBW-Webdienst an die Client-Anwendung übermittelt und auf mehreren Unterseiten der Anwendung ausgegeben. Dabei erfolgt die Ausgabe der Simulationsergebnisse in Form einer Karte, einer Übersichtstabelle und einer Säulengrafik (siehe Abbildung 15 und Abbildung 16). Die Übersichtstabelle zeigt eine Auswahl von Summen- und Durchschnittswerten über den gesamten Simulationszeitraum. Das Säulendiagramm gibt Anhaltspunkte für den wöchentlichen Wasserbedarf während der Vegetationsperiode im Betrachtungsraum. Die Karte visualisiert die räumlichen Unterschiede beim Bewässerungsbedarf in Abhängigkeit von den Bodenverhältnissen, d.h. der nutzbaren Feldkapazität).

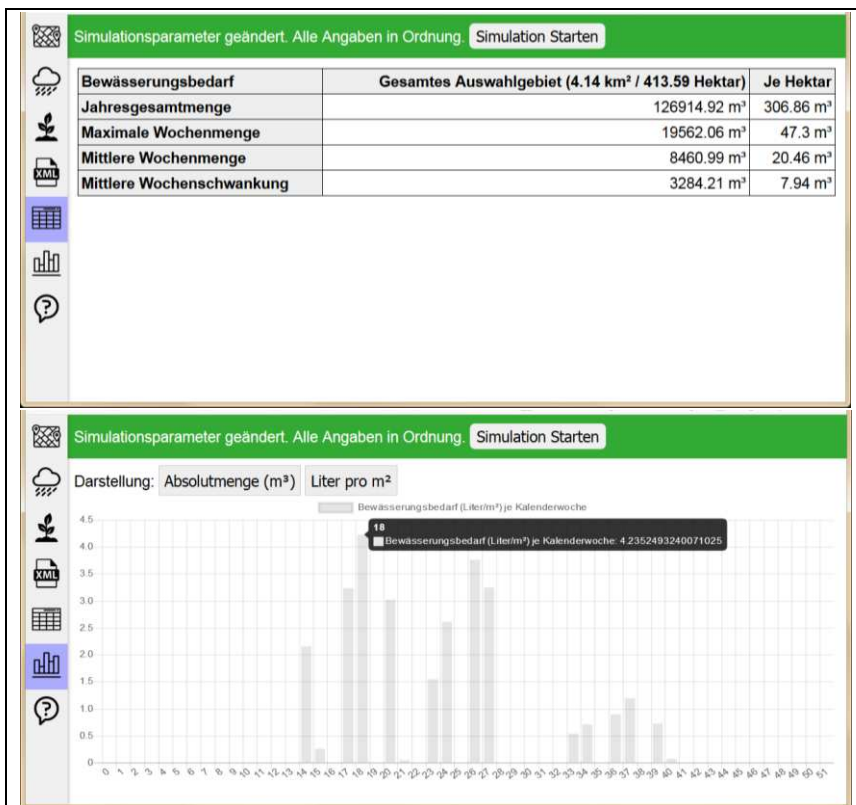


Abbildung 15: Tabellarische und grafische Darstellung mit Dialogfeld von den Berechnungsergebnissen zum Wasserbedarf im ausgewählten Betrachtungsraum und Klima-zeitraum

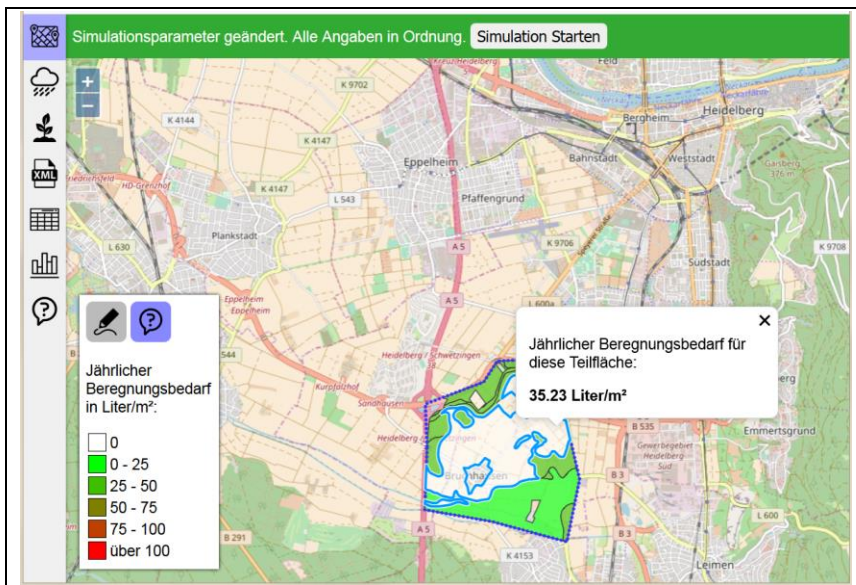


Abbildung 16: Kartografische Darstellung der Berechnungsergebnisse zum Wasserbedarf im ausgewählten Betrachtungsraum und Klimazeitraum incl. Dialogfeld zum jährlichen Beregnungsbedarf einzelner Bodeneinheiten

6.3 DOKUMENTATION

Im Prognosewerkzeug ist folgende Anleitung mit Kurzdokumentation zum Hintergrund der Datenlage und der Berechnungen sowie zur Programmfunktionalität hinterlegt:

Hintergrund

Mit dem interaktiven Instrument lässt sich der jährliche Bewässerungsbedarf für die Landwirtschaft in der Gegenwart und der Zukunft berechnen. Damit ergeben sich zum Beispiel vor dem Hintergrund des Klimawandels Hinweise auf Ernte- und Wirtschaftlichkeitsrisiken bei anspruchsvollen Feldkulturen wie Kartoffeln, Saatmais oder Feldgemüse. Aber auch der Bedarf erhöhter Förder-, Transport- und Zwischenspeicherkapazitäten von Beregnungswasser wird erkennbar. Außerdem sind pflanzenbauliche Alternativen in der Fruchtfolge für eine effizientere Wassernutzung prüfbar, wie etwa die Umstellung von Sommer-/Wintergetreide oder von Kartoffeln auf Mais. Insgesamt ermöglicht das Instrument mittel- und langfristige Planungen für eine nachhaltige und ressourceneffiziente Bewässerung in der Landwirtschaft.

Bei dem Prognose-Instrument handelt es sich um eine interaktive Webanwendung. Über das Auswahlménü werden ein frei wählbares Untersuchungsgebiet, der Klimaprognosezeitraum und die angebauten Kulturpflanzen festgelegt. Eine tagesspezifische Prognose ist mit dem Instrument nicht durchführbar. Hierfür eignen sich spezifische Programme besser wie z.B. das „Agrowetter“ des Deutschen Wetterdienstes.

Die Bewässerungsprognose basiert auf einer einfachen Bilanzierung des Bodenwassers. Erster Schritt ist dabei die Abschätzung des potenziellen Wasserverbrauchs der Pflanze durch Multiplikation einer potenziellen Referenzverdunstung mit pflanzenspezifischen Korrekturwerten (sog. kc-Werte). Die Referenzverdunstung resultiert aus Klimamodellierungen der LUBW, die kc-Werte wurden für Südwestdeutschland von der Hochschule Geisenheim ermittelt. In einem zweiten Schritt wird der Bodenwassergehalt auf Basis des Pflanzenentzugs und der Zufuhr durch Niederschlag bilanziert. Bewässerungsbedarf besteht dann, wenn der Bodenwassergehalt 60 % der potenziellen Speicherkapazität für pflanzenverfügbares Wasser unterschreitet. Der nominelle Bewässerungsbedarf ist schließlich die aufsummierte Menge an Wasser, die dem Boden bis zur Auffüllung auf 80 % der potenziellen Speicherkapazität für pflanzenverfügbares Wasser zugeführt wird. Die Wasserbedarfsrechnungen starten zeitgleich mit der Aussaat bzw. Pflanzung der ersten Feldkultur einer Kulturabfolge im Frühjahr des Jahres automatisch mit 90 % der potenziellen Speicherkapazität für pflanzenverfügbares Bodenwasser, darauf folgende Feldkulturen mit 80%.

Anleitung und Dokumentation

Bei dem Prognoseinstrument handelt es sich um eine interaktive Webanwendung. Mittels Auswahlmenu werden ein frei wählbares Untersuchungsgebiet, der Klimaprognosezeitraum und die angebauten Kulturpflanzen festgelegt. Dies geschieht über die Symbolleiste am linken Fensterrand:



Die **Unterseite „Untersuchungsgebiet“** zeigt eine interaktive Web-Karte, auf der nach dem anklicken des Stiftsymbols die zu untersuchende Region mit der Maus oder per Touch-Interaktion festgelegt wird.



Die **Unterseite „Klima“** enthält ein Bedienelement zur Wahl des Klimazeitraums. Hier sind die Gegenwart (1971-2000), die nahe Zukunft (2021-2050) und die ferne Zukunft (2071-2100) verfügbar. Mit einem weiteren Bedienelement wird ein individueller Schätzwert für die maximale Anzahl der aufeinanderfolgenden Trockentage (= Niederschlagsintervall) im Berechnungszeitraum festgelegt. Damit verteilt das BeProBW-Instrument die monatlichen Niederschlagsmengen, die von den LUBW-Klimamodellierungen prognostiziert werden, auf das vom Nutzer gewählte Niederschlagsintervall. Zur Orientierung werden dem Nutzer auf Basis entsprechender LUBW-Klimamodellierungen für die Gegenwart 19 Tage, für die nahe Zukunft 22 Tage und für die ferne Zukunft 24 Tage vorgeschlagen. Dadurch kommt es an den Niederschlagsterminen zu hohen Niederschlagssummen, die einem Starkregen entsprechen. Rechnerisch werden die Böden mit diesem Niederschlagswasser zu maximal 100% aufgefüllt. Überschüssiges Niederschlagswasser geht in der Rechnung verloren. In der Realität kann das zu Oberflächenabfluss führen, der im BeProBW-Instrument aber unberücksichtigt bleibt.



Die **Unterseite „Feldkulturen“** ermöglicht die Auswahl von **Feldkulturen** und Feldkulturabfolgen für die Berechnungen. Dabei werden die Feldkulturen in einer Vegetationsperiode aus einem Katalog ausgewählt und deren Anbauzeiträume bzw. Reifezeiten individuell festgelegt. Eine **Feldkulturabfolge** ist zu verstehen als Repräsentation eines frei wählbaren Anteils der Anbaufläche, auf dem über den Simulationszeitraum hinweg eine bestimmte Abfolge von Feldkulturen angebaut wird. Es können beliebig viele Feldkulturabfolgen innerhalb des ausgewählten Untersuchungsgebietes definiert werden. Ebenso können innerhalb einer Feldkulturabfolge beliebig viele Feldkulturen aus dem vorgehaltenen Katalog ausgewählt werden. Innerhalb einer Feldkulturabfolge dürfen sich die Anbauzeiten jedoch nicht überschneiden. Zudem müssen überjährige Feldkulturen (z.B. Wintergetreide, Winterraps) und mehrjährige Feldkulturen (z.B. Spargel) immer am 1.1. eines Jahres starten.



Die **Unterseite „Feldkulturen“** ermöglicht des Weiteren bei jeder Feldkultur für eine **Startbewässerung** eine beliebige Wassermenge festzulegen. Außerdem ist noch eine **Bewässerungskorrektur** möglich, um beispielsweise die Bewässerungsmenge prozentual zu erhöhen, falls durch die Bewässerungstechnik oder den Zustand der Bewässerungsanlage Wasserverluste erwartet werden.

Die **Statusleiste** am oberen Rand des Anwendungsfensters informiert während der Eingabe der Simulationsparameter durch den Nutzer fortlaufend über ungültige Einstellungen.

Kein Untersuchungsgebiet definiert.

Sobald die Simulationseinstellungen im technischen Sinne korrekt sind und ein erfolgreicher Simulationslauf möglich ist, wird in der Statusleiste eine Schaltfläche eingeblendet. Mit dem Anklicken wird das eingegebene Szenario an den BeProBW-Webdienst übermittelt und die Simulation gestartet.

Simulationsparameter geändert. Alle Angaben in Ordnung. **Simulation Starten**

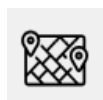
Bei der Simulation erfolgt fachlich keine automatische Plausibilisierung der Eingaben. Die Eingabe realistischer Simulationsparameter liegt in der Verantwortung der Nutzer.



Die Unterseite „**tabellarische Ergebnisse**“ zeigt in einer Übersichtstabelle eine Auswahl von Summen- und Durchschnittsmengen des kalkulierten Wasserbedarfs über den gesamten Simulationszeitraum und das gesamte Untersuchungsgebiet hinweg.



Die Unterseite „**grafische Ergebnisse**“ gibt in einem Säulendiagramm Anhaltspunkte für den wöchentlichen Wasserbedarf während des Simulationszeitraumes, d.h. der Vegetationsperiode im gesamten Untersuchungsgebiet. Dabei kann der Nutzer durch Anklicken eines Auswahlfeldes am oberen Rand des Ergebnisfensters zwischen der Darstellung als Gesamtbedarfsmenge in m^3 für das Auswahlgebiet oder als Flächenbezugsmenge in l/m^2 auswählen.



Ein **Dialogfenster „Detailinformation“** öffnet sich nach einem Klick auf das Fragezeichen und anschließendem Klick auf eine Teilfläche des Untersuchungsgebietes. Dabei öffnet sich dann ein Dialogfenster mit dem Bewässerungsbedarf je m^2 in der simulierten Vegetationsperiode für den ausgewählten Kartenausschnitt.

Hintergrunddaten

Neben den Informationen, die vom Nutzer festgelegt werden, sind im Hintergrund weitere Daten dauerhaft auf dem Simulationsserver abgelegt. Dabei handelt es sich um:

- Klimaprojektionen der LUBW aus dem Jahr 2013 in Form eines 25x25-km-Rasters mit monatlichen Niederschlagswerten und Verdunstungswerten nach Penman (potenzielle Evaporation), die aus den verfügbaren Werten zum Niederschlag und zur klimatischen Wasserbilanz errechnet wurden (Die Klimawerte liegen nur in Punktform vor und mussten deshalb in 25x25-km große „Klimakacheln“ überführt werden. Dadurch können sich an den Kachelgrenzen auffällige Ergebnisdifferenzen oder beim Wechsel in andere Landschaftsräume unerklärliche Ergebnisse ergeben),
- Kennwerte von 26 hinterlegten Feldkulturpflanzen in Abhängigkeit der Wachstumsstadien zur Verdunstung (kc-Werte) und zum Wurzeltiefenwachstum, die beide aus empirischen Untersuchungen stammen,
- Vektorkarte (Shapefile) mit den Ackerflächen im gesamten Kartengebiet, die auf der CORINE Land Cover – Klassifikation basiert, so dass in dem Prognoseinstrument Grünland, Wald oder Siedlungsstandorte ausgeschlossen sind,

- Bodenverteilungsmuster und Bodenkennwerte aus der Bodenkarte 1:50000 des LGRB-BW und einer ergänzenden Attributtabelle mit Durchschnittswerten zur nutzbaren Feldkapazität in Abhängigkeit der Bodengründigkeit und des dominierenden Bodentyps der einzelnen Bodenkartiereinheiten (Az. 4765//17_871), die mit der o.g. Ackerflächenkarte verschnitten wurde.

7 Ergebnisse

7.1 BEWÄSSERUNGSBEDARF EINES FELDES AN EINEM KLIMAPUNKT AM NÖRDLICHEN OBERRHEIN

Der gegenwärtige und zukünftige Bewässerungsbedarf landwirtschaftlicher Kulturpflanzen auf einem einzelnen Feld wird exemplarisch für einen repräsentativen Klimaprojektionspunkt beim tendenziell eher trocken-warmen Heidelberg in Abbildung 18 dargestellt. Demnach wurde auf einem für diese Region typischen Auenboden mit hoher nutzbarer Feldkapazität für Kopfsalat ab 1. Juni eines Jahres mit dem BeProBW-Instrument ein aktueller Bewässerungsbedarf von knapp 25 l/m² im Jahr und in der fernen Zukunft von rund 35 l/m² im Jahr berechnet. Die wöchentlich erforderlichen Bewässerungsmengen zeigt das BeProBW-Instrument in einer Säulengrafik. Obwohl die Berechnung des BeProBW-Instruments auf einer täglichen Bodenwasserbilanzierung beruht, werden die Tageswerte nicht dargestellt. Denn damit würde eine Ergebnispräzision vermittelt, die mit den zugrundeliegenden Unsicherheiten der modellierten Klimakennwerte in monatlicher Auflösung und der generalisierenden Bodenkarte im Maßstab 1:50.000 nicht erreichbar ist. Zwecks orientierender Darstellung des Berechnungsprinzips sind jedoch zwei Verlaufsgrafiken für das o.g. Beispiel mit dem Kopfsalat in Abbildung 17 dargestellt und die programminternen Tageswertewerte im Anhang 15 gelistet.

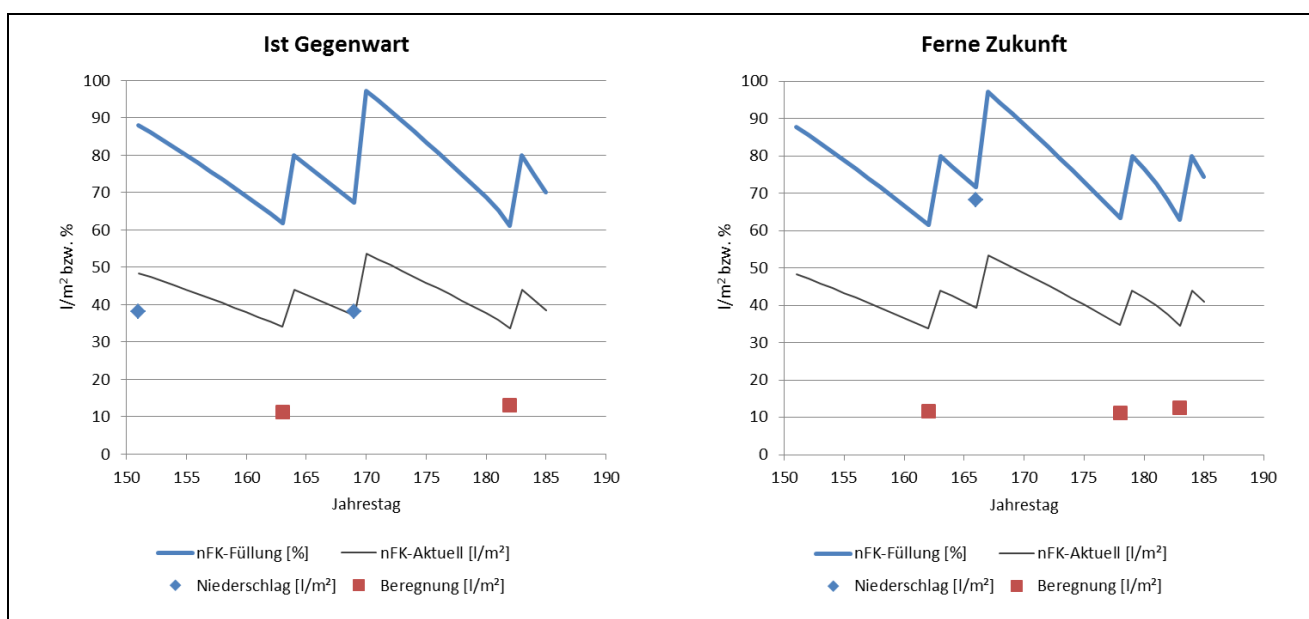


Abbildung 17: Programminternes Ergebnis der tagesbasierten Bodenwasserbilanzierung zur Berechnung des Beregnungsbedarfs bei Heidelberg mit dem BeProBW-Prognoseinstrument am Beispiel von Kopfsalat.

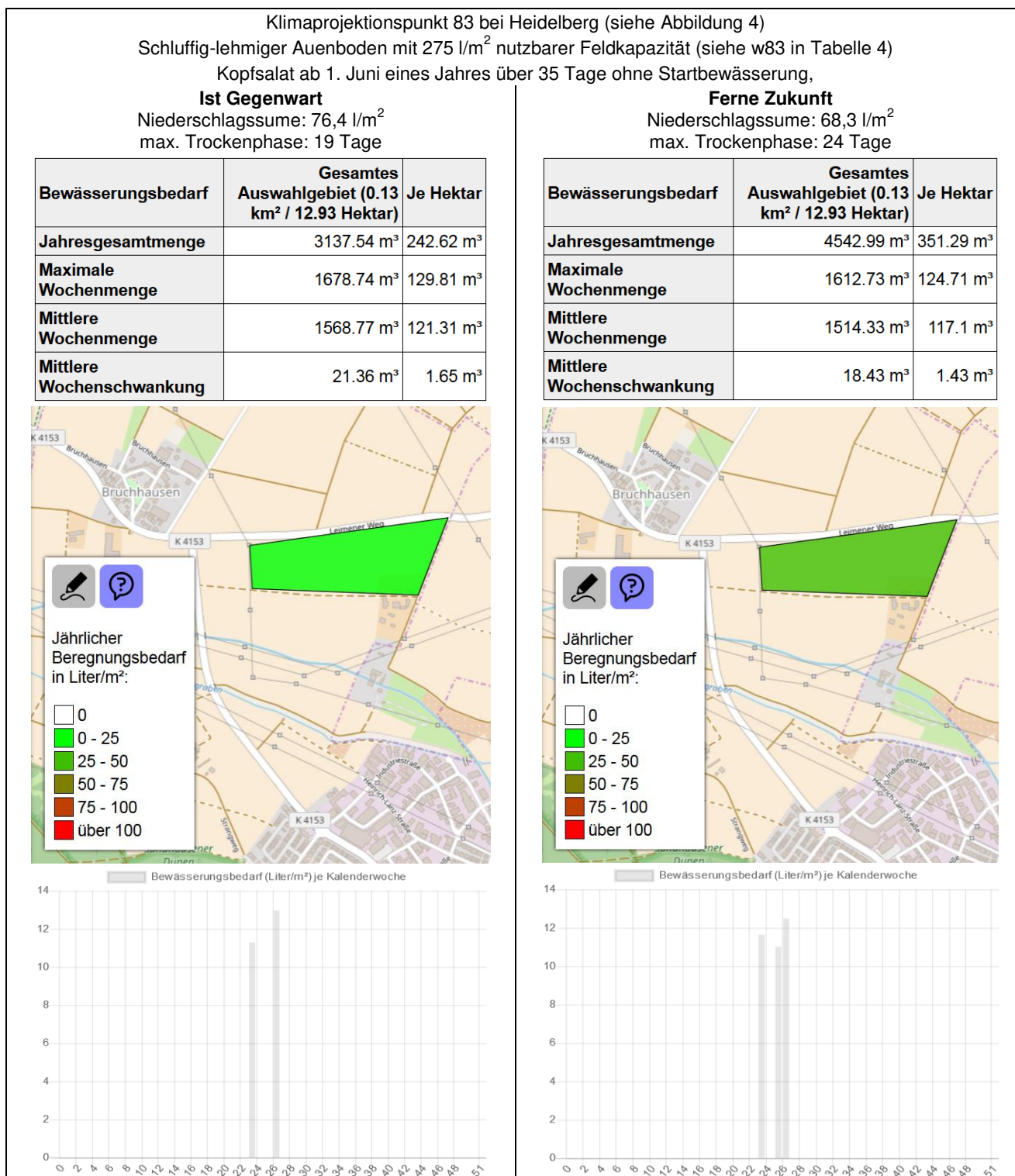


Abbildung 18: Exemplarische Darstellung der Ergebnisse zum gegenwärtigen und zukünftigen Bewässerungsbedarf von Kopfsalat auf einem Ackerschlag bei Heidelberg mit dem webbasierten BeProBW-Prognoseinstrument.

7.2 BEWÄSSERUNGSBEDARF AN ZWEI REPRÄSENTATIVEN KLIMAPUNKTEN IM VERGLEICH

Der gegenwärtige und zukünftige Bewässerungsbedarf wird für ausgewählte Kulturpflanzen und eine Kulturpflanzenabfolgen auf verschiedenen Feldern bei unterschiedlichen Klimaprojektionspunkten und Bodeneigenschaften in Tabelle 6 zusammengefasst. Dabei zeigt sich im Rahmen des Klimawandels eine relativ geringe Differenzierung beim Bewässerungsbedarf auf Böden mit hoher nFK an den beiden unterschiedlichen Klimaprojektionspunkten. Für Kartoffel und Weißkohl ergeben sich jedoch in der fernen Zukunft gegenüber der Gegenwart ein Bewässerungsbedarf im tendenziell trocken-wärmeren Raum Heidelberg und

kein Bewässerungsbedarf im tendenziell feucht-kühleren Raum Biberach. Bei den Böden mit niedriger nFK ergibt sich für die ferne Zukunft ein Bewässerungsbedarf, der 20 bis über 100% über dem der Gegenwart liegt und auch im tendenziell feucht-kühleren Raum Biberach zu einem Bewässerungsbedarf z.B. bei Sommergetreide, Mais oder Kartoffeln führen kann.

In Abbildung 19 und Abbildung 20 ist ergänzend von ausgewählten Szenarien die Verteilung des Bewässerungsbedarfs in Abhängigkeit der räumlichen Bodenverteilung kartografisch dargestellt.

Tabelle 6: Gegenwärtiger und zukünftiger Bewässerungsbedarf für ausgewählte Kulturpflanzen auf verschiedenen Böden und bei unterschiedlichen Klimaprojektionspunkten als Ergebnis der Berechnungen mit dem BeProBW-Prognoseinstrument (Details zu Böden siehe Tabelle 4, zu Klimapunkten Abbildung 4)

Feldkultur	Ortsnähe	Saat-/Pflanztermin	Vegetationsdauer [Tage]	IST niedrige nFK	FERN niedrige nFK	IST hohe nFK	FERN hohe nFK
Wintergetreide (Weizen)	Heidelberg	01.01.	180	29	44	0	0
	Biberach	01.01.	180	0	0	0	0
Sommergetreide (Weizen)	Heidelberg	01.03	130	43	59	0	0
	Biberach	01.03	130	0	32	0	0
Mais	Heidelberg	15.04	130	27	79	0	0
	Biberach	15.04	130	0	63	0	0
Kartoffel	Heidelberg	15.04	150	81	94	0	24
	Biberach	15.04	150	0	88	53	36
Weißkohl	Heidelberg	15.04	133	95	132	0	11
	Biberach	15.04	133	77	114	9	18
Blumenkohl Kopfsalat Feldsalat	Heidelberg	15.03	63	129	152	53	72
		10.06	35				
		23.08	65				
	Biberach	15.03	63	96	124	47	72
		10.06	35				
		23.08	65				

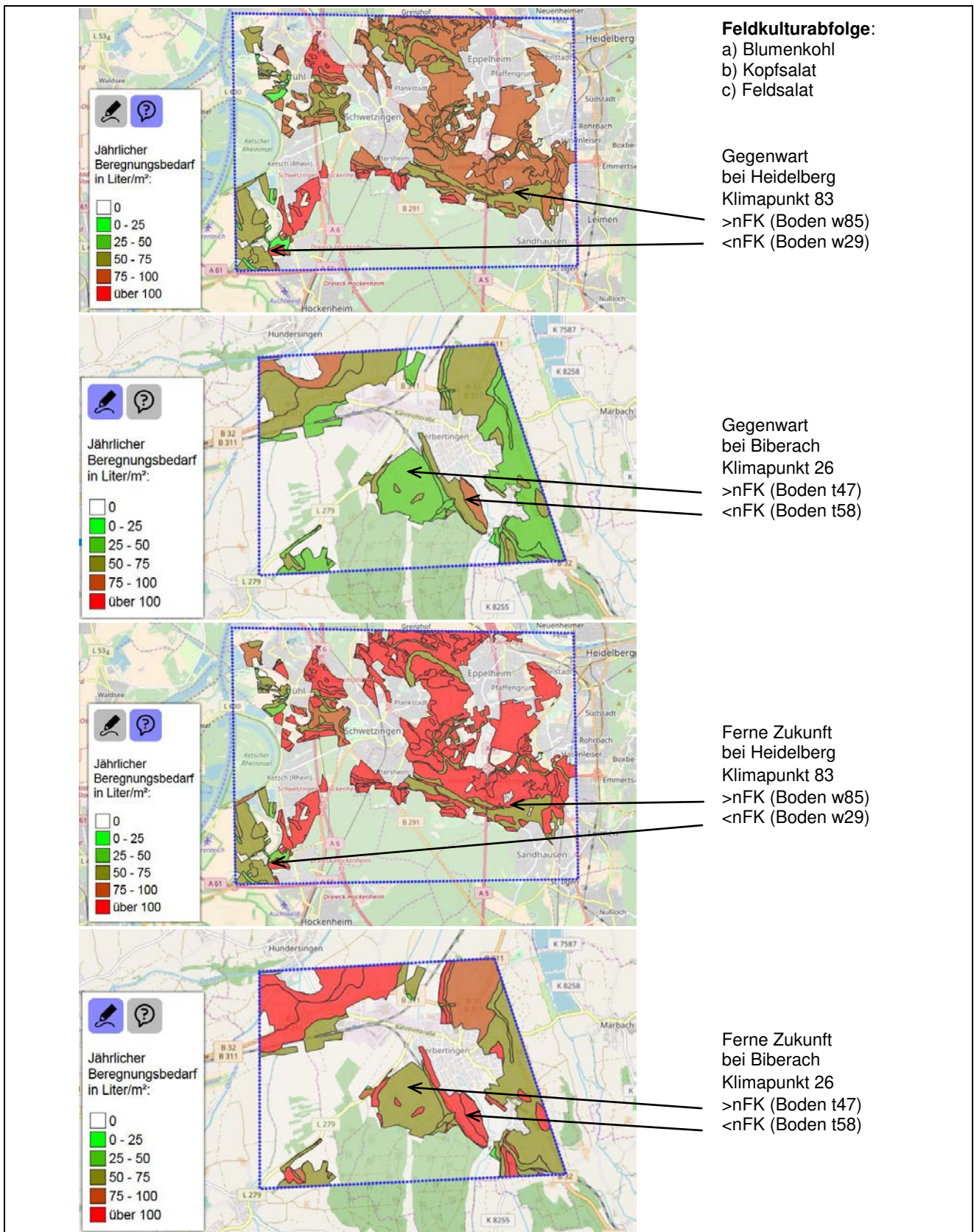


Abbildung 19: Die Verteilung des Bewässerungsbedarfs gemäß Berechnungen mit dem BeProBW-Prognoseinstrument in Abhängigkeit der räumlichen Bodenverteilung bei einer ausgewählten Kulturpflanzenabfolge unabhängig von den Pflanzenansprüchen an den Standort

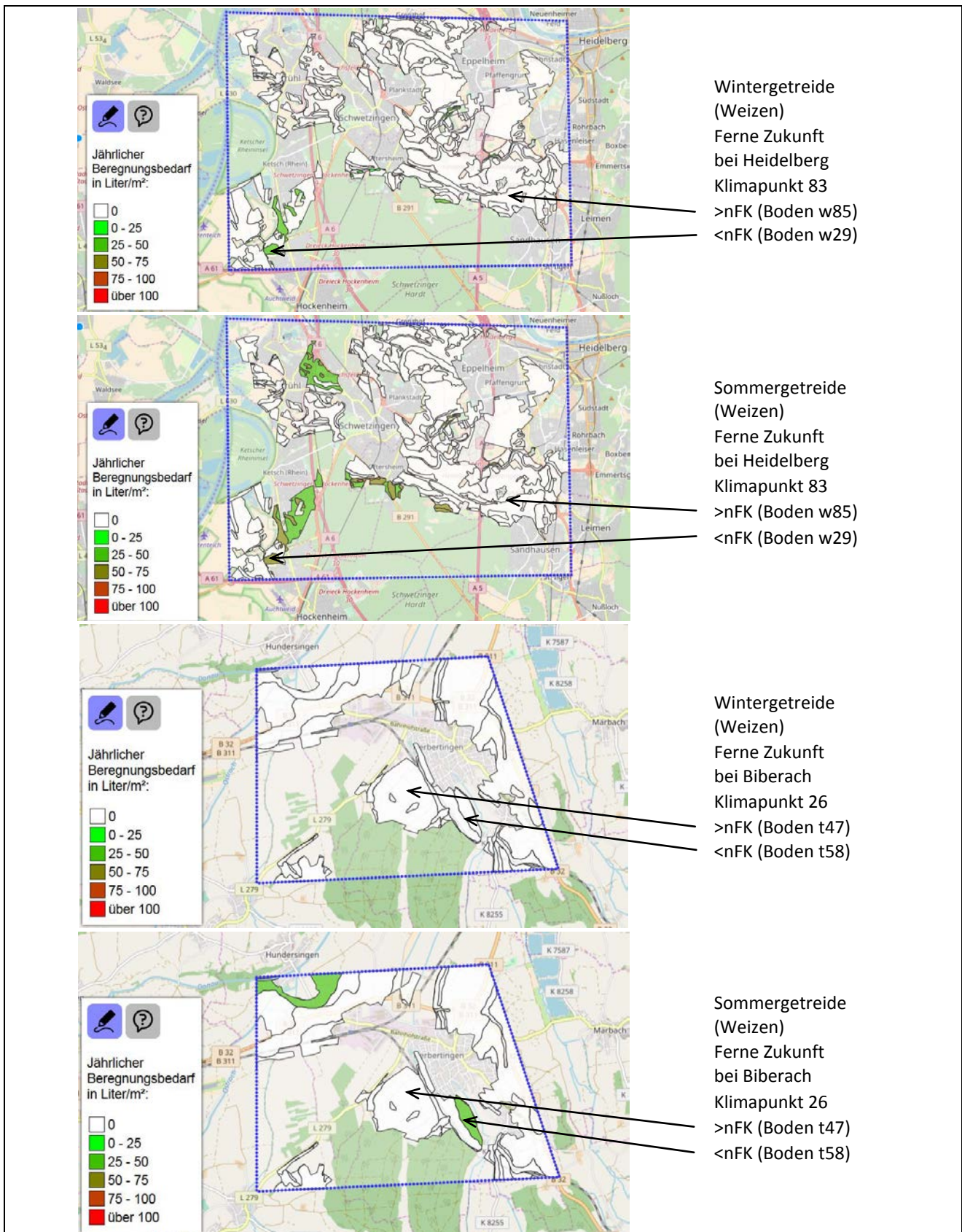


Abbildung 20: Verteilung des Bewässerungsbedarfs im Vergleich von Winter- und Sommergetreide gemäß Berechnungen mit dem BeProBW-Prognoseinstrument in Abhängigkeit des räumlichen Bodenmusters

7.3 ERGEBNISPLAUSIBILITÄT GEGENÜBER ALTERNATIVEN PROGNOSEVERFAHREN

Die Plausibilitätsprüfung von ausgewählten Berechnungsergebnissen mit dem Prognosewerkzeug dient der Qualitätssicherung. Sie wird anhand repräsentativer Testgebiete (siehe Abbildung 21) mit der Kulturabfolge Blumenkohl früh, Kopfsalat Sommer und Feldsalat Herbst sowie Weißkohl durchgeführt. Dazu wurden Ver-

gleiche mit kalkulatorischen Angaben zum Wasserbedarf von Freilandgemüsekulturen am Standort Geisenheim westlich von Wiesbaden nach Zinkernagel et al. 2017 und mit den Angaben bzw. rechnerischen Ansätzen zum Zusatzwasserbedarf aus dem Gelbdruck des Merkblattes DWA-M 590 (DWA 2017) vorgenommen. Im Vergleich zu den ausgewählten Testgebieten weist der Standort Geisenheim zwar etwas geringere Niederschläge auf, entspricht aber hinsichtlich der klimatischen Wasserbilanz etwa dem „ostdeutschen Klimagebiet“ in DWA-M 590.

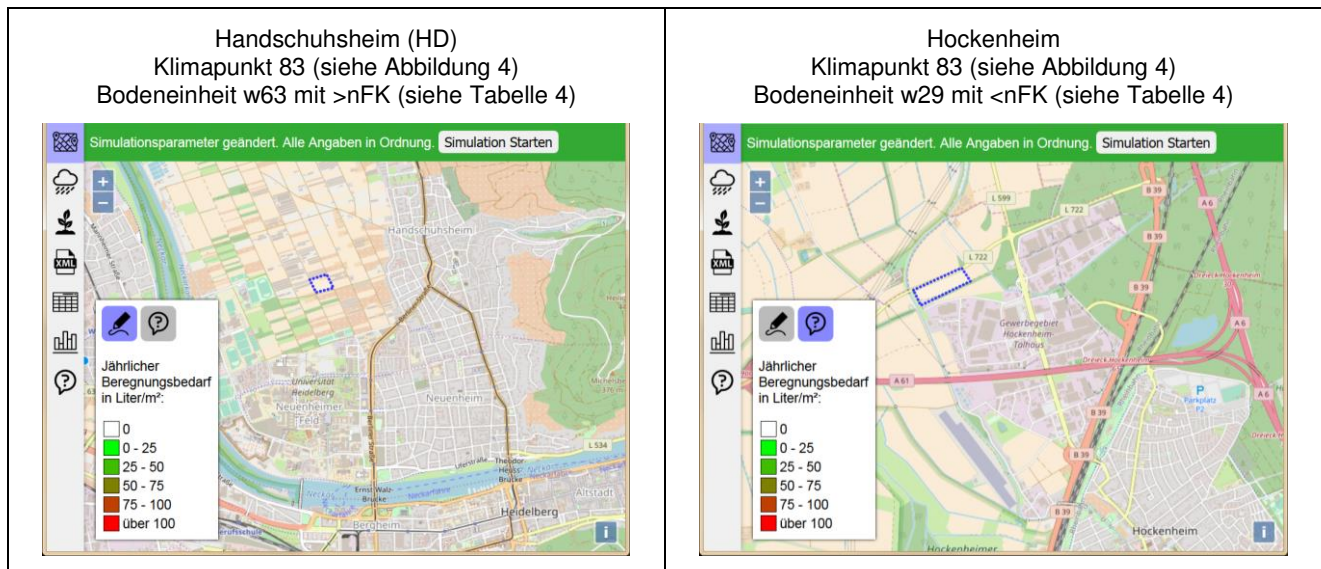


Abbildung 21: Lage der repräsentativen Testgebiete zur Plausibilitätsprüfung des BeProBW-Prognosewerkzeugs mit Angaben nach Zinkernagel et al. (2017) und DWA (2017)

Bei Weißkohl liegt am Standort Hockenheim nach DWA Merkblatt bei geringer Wasserverfügbarkeit des Bodens der durchschnittliche Zusatzwasserbedarf bei 120 bis 150 mm (siehe Tabelle 7). Wird eine Anfangsbewässerung von 25 mm einkalkuliert, ergibt sich ein Bewässerungsbedarf zwischen 145 bis 175 mm. Damit ist eine weitgehende Übereinstimmung der Kalkulationsdaten von BeProBW und DWA gegeben. Am Standort Handschuhshiem (HD) liegt nach DWA Merkblatt bei hoher Wasserverfügbarkeit des Bodens der durchschnittliche Zusatzwasserbedarf bei 80 bis 110 mm. Wird eine Anfangsbewässerung von 25 mm kalkuliert, ergibt sich ein Bewässerungsbedarf von 105 bis 125 mm. Damit liegen für die Gegenwart die BeProBW-Ergebnisse unter den DWA-Werten aber innerhalb des Bereichs, wenn mit Klimadaten der nahen Zukunft gerechnet wird.

Wird von Blumenkohl der Bewässerungsbedarf mit dem BeProBW-Prognoseinstrument kalkuliert, liegt er deutlich unter den Angaben des DWA-Merkblattes (siehe Tabelle 7). Die Kalkulationen von Geisenheim weisen die Werte noch innerhalb der Schwankungsbreite (minimal) aus. Bei Kopfsalat ist Ähnliches festzustellen. Die Abweichung ist bei lehmigen Böden mit höherer nFK etwas geringer. Die Schwankungsbreite bei den Kalkulationen von Geisenheim decken wiederum die Ergebnisse ab. Bei Feldsalat stimmen die Berechnungen mit dem DWA Merkblatt überein.

Tabelle 7: Methodenvergleich zwecks Plausibilitätsprüfung des Bewässerungsbedarfs gemäß BeProBW-Prognoseinstrument mit den kalkulatorischen Angaben zum Wasserbedarf am Standort Geisenheim (Zinkernagel et al. 2017) und mit den Tabellenwerten zum Zusatzwasserbedarf aus dem Gelbdruck des Merkblattes DWA-M 590 (DWA 2017)

Kulturabfolgebeispiel Kultur Anbauzeitraum	A			B
	Blumenkohl 15.3.-24.5.	Kopfsalat 10.6.-15.7.	Feldsalat 23.8.-27.10.	Weißkohl 16.5.-26.9.
BeProBW-Prognoseinstrument				
Davon Startbewässerung	15	25	20	20
Hockenheim (nFK gering) Gegenwart 22 Tage Trocken	98	68	33	133
Hockenheim (nFK gering) nahe Zukunft 22 Tage Trocken	114	72	41	159
Heidelberg (nFK hoch) Gegenwart 22 Tage Trocken	45	62	41	71
Heidelberg (nFK hoch) nahe Zukunft 22 Tage Trocken	46	72	38	98
DWA-Merkblatt				
Davon Startbewässerung	15	25	20	25
Boden wenig Wasser n (nFK gering)	135-165	115-135	30-60	145-175
Boden viel Wasser sh (nFK hoch)	95-125	85-115	20-50	105-125
Kalkulation Hochschule Geisenheim Standort Geisenheim				
Davon Startbewässerung	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Sand (min-mittel-max) (nFK gering)	41-205-358	16-122-226	k. A.	k.A.
Lehm (min-mittel-max) (nFK hoch)	26-196-358	8-112-225	k. A.	k.A.

Mehrheitlich ergaben die Methodenvergleiche also eine plausible Übereinstimmung, wobei die Berechnungen nach BeProBW tendenziell eher zur Unterschätzung des Bewässerungsbedarfs neigen. Gründe hierfür können sein:

- Zu Beginn des Kulturwachstums durchwurzelt die Feldkultur noch nicht die Bodenschicht bis auf 30 cm. Im BeProBW-Programm wird in der ersten Wachstumsphase zur Berechnung der Wasserverfügbarkeit direkt zu Kulturbeginn aber eine von Wurzeltiefe 30 cm angenommen. Insbesondere bei Böden mit hoher Wasserverfügbarkeit führt das zu erheblichen Abweichungen, die 20-30 mm betragen können.
- Zur Kalkulation des Zusatzwasserbedarfes werden bei den verschiedenen Kalkulationen abweichende Annahmen zu den Bodenverhältnissen gemacht und damit auch zum Anteil verfügbaren Wassers nach der Beregnung bzw. nach Niederschlägen. Die Vergleichbarkeit der Kalkulationsansätze ist also nur in Annäherung möglich.
- Die Differenzen zum Geisenheimer Berechnungsansatz können u.a. resultieren aus Abweichungen bei den kc-Werten und der abgestuften kc-Verrechnung gegenüber der interpolierten mit dem BeProBW-Instrument.

7.4 KARTEN ZUR ENTWICKLUNG DES LANDESWEITEN BEWÄSSERUNGSBEDARFS

Ergänzend zum Prognose-Werkzeug wurden für den Zweck landesweiter Konzepte und Planungen im Zusammenhang mit Anpassungsstrategien an den Klimawandel Karten erstellt, welche die potenzielle Beregnungsbedürftigkeit von zwei ausgewählten Feldkulturen (Mais, Weißkohl) in der Gegenwart und der fernen Zukunft für die gesamte Landesfläche von Baden-Württemberg abbilden (Kartenausschnitte siehe Abbildung 22, auf DIN-A4 verkleinerte Gesamtkarten im Anhang, DIN-A1 Originalgröße nur auf CD zum gedruckten Abschlussbericht). Dabei wird die Verteilung einer Feldkultur auf alle Ackerflächen bei gleichen Anbaumaßnahmen wie Saat-/Pflanztermin und Vegetationsdauer angenommen, unabhängig davon ob die lokalen Standortverhältnisse den Ansprüchen der ausgewählten Kulturpflanzen entsprechen.

Anhand der beiden Beispiele zu Mais und Weißkohl ist auf Landesebene insbesondere in Landschaften, die Böden mit einer geringeren nutzbaren Feldkapazität aufweisen, mit erhöhtem Bewässerungsbedarf in der Zukunft zu rechnen, sofern die Feldkulturen unverändert bleiben. Zu den betroffenen Gebieten gehören z.B. Bauland/Hohenlohe, die Gäue am Ostrand des Schwarzwaldes oder die Alb/Baar-Region.

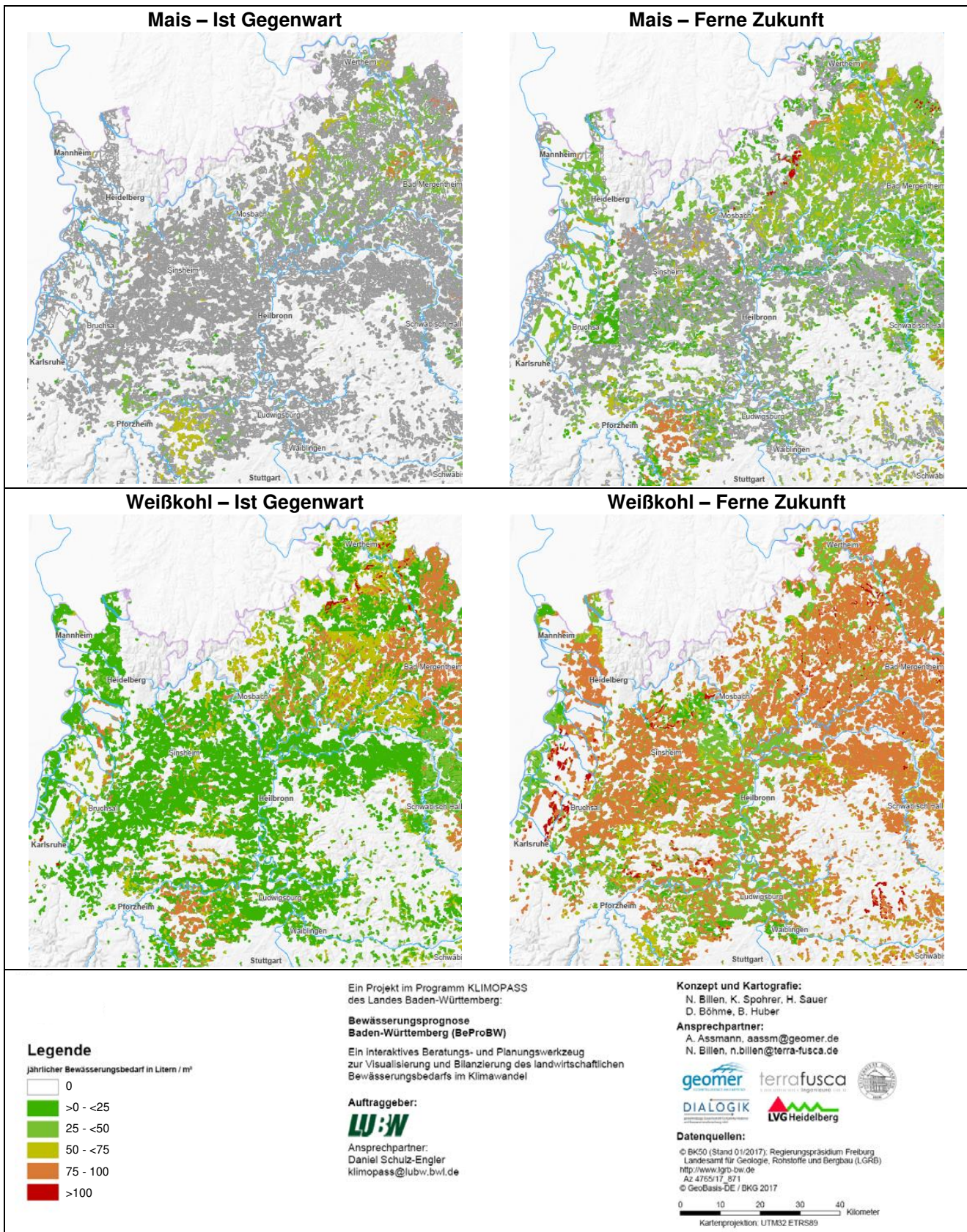


Abbildung 22: Ausschnitte aus den Karten zum Bewässerungsbedarf von Mais und Weißkohl auf den Ackerflächen Baden-Württembergs in der Gegenwart und der fernen Zukunft, unabhängig von den Pflanzenansprüchen an die Standorteigenschaften (Aufgrund der Kartenverkleinerung sind die weißen Flächen ohne Bewässerungsbedarf graufarbig)

8 Abschluss und Ausblick

8.1 ABSCHLUSSVERANSTALTUNG

Am 26. April 2018 fand in Heidelberg an der staatlichen Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau (LVG) die Abschlussveranstaltung des Projektes BeProBW statt (Einladung und Programm siehe Anhang 7). Für ein breiteres Publikum (Anwesenheitsliste siehe Anhang 8) war die Frage zu klären: Welche Ziele verfolgte das Projekt und zu welchen Ergebnissen kam es? Antwort: Mit BeProBW sollte ein Berechnungsinstrument bis hin zur praxistauglichen Anwendbarkeit entwickelt werden, das sowohl in der Landwirtschaft als auch in der Wasserwirtschaft und im Klimaschutz zur Ermittlung des Wasserbedarfes von landwirtschaftlichen Schlägen bis hin zu Regionen eingesetzt werden kann. Zur Berechnung bestehen hierbei die Möglichkeiten zum einen die Klimadaten der Gegenwart und zum anderen auch der nahen und fernen Zukunft zur Klimafolgenabschätzung heranzuziehen.

Nach einer kurzen Einführung durch Barbara Degen (stellv. Leiterin der LVG) und Dr. Nobert Billen wurde die Veranstaltung mit einem Gastvortrag von Frau Prof. Dr. Zinkernagel, Hochschule Geisenheim, zum Thema „Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserbedarf von Gemüsekulturen“ begonnen (siehe Abbildung 24 und Abbildung 25). Dann erfolgte die Projektvorstellung mit Zielen und Ablauf, Erwartungen aus der Praxis und Vorstellung des Prognoseinstrumentes mit fachlichen und technischen Hintergründen durch die Projektpartner A. Assmann, S. Bechtold, D. Böhme (geomer GmbH, Heidelberg), N. Billen (terra fusca ing. PartG, Stuttgart), B. Malburg-Graf (DIALOGIK gGmbH, Stuttgart), H. Sauer (Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau - LVG, Heidelberg), K. Spohrer (Universität Hohenheim / Institut für Agrartechnik, Stuttgart).

Im Anschluss daran waren die zur Veranstaltung Geladenen aus der Beratung, der Praxis und den verschiedenen Entscheidungsstellen von Bewässerungsverbänden, Wasserversorgern und Kommunen, Landratsämtern, Regierungspräsidien, Ministerien und Landesfachanstalten sowie Landwirtschaftsbetrieben selbst gefordert und konnten mit Hilfe des Werkzeugs eigene Szenarien berechnen. Hierzu und für den zukünftigen Zugang zum Berechnungsinstrument wurden knapp 100 DIN A6 - Memokarten verteilt (siehe Abbildung 23), die durch die Teilnehmenden ausdrücklich auch an weitere Interessenten verteilt werden können.



Abbildung 23: Vorder- und Rückseite der DIN A6 - Memokarte für den Webzugang zum Berechnungsinstrument (Grafik-Design: M. Billen)

Mit den Erfahrungsberichten aus einem Praxistest wurde die Veranstaltung fortgesetzt. Hier kommentierte Martin Zimmermann (Überbetriebliche Beratung im Gartenbau - Umweltgerechte Produktion im Erwerbsgartenbau, Landratsamt Göppingen) stellvertretend für die Teilnehmenden der Praxisrunde vom 23.02.2018 (siehe Kapitel 4.4), welche Eindrücke das webbasierte Instrument beim Praxistest hinterlassen hatte und welche Diskussionen zur Weiterentwicklung und Optimierung des Werkzeuges stattfanden. Seine Zusammenfassung des Erfahrungsberichts und das Fazit lauteten, dass das neu entwickelte, webbasierte Bewässerungsprognoseprogramm ein wertvolles Hilfsmittel ist, um in kurzer Zeit eine Wasserbedarfsplanung für Betriebe oder Regionen kalkulatorisch zu erstellen. Erforderliche Nacharbeiten wurden zum Beispiel im Bereich der Klimadatenaufarbeitung und der Ergebnisspannen identifiziert, um dadurch die Prognose genauer zu machen. Die Aufnahme der Wasserbedarfsplanung für die Frostschutzberegnung war ein weiterer Wunsch aus der Praxis.

Dr. André Assmann schloss den Nachmittag mit einem Ausblick auf die Verwendbarkeit und Verfügbarkeit des Instruments ab. Bis November 2018 kann das Berechnungsinstrument unter dem Link <http://94.130.142.96/beprobw/> noch getestet werden. Die Ergebnisse der Veranstaltung wurden in Kurzform auf der LVG-Webseite eingestellt (http://lvg-heidelberg.de/pb/site/pbs-bw-new/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/lvg/Bilder/Aktuelles/2018-04-26_BeProBW-Abschlussbericht.pdf).



Abbildung 24: Gastvortrag von Prof. Dr. Zinkernagel der Hochschule Geisenheim (links im Bild) zusammen mit Heike Sauer und anschließender Diskussion (Foto: A. Assmann)



Abbildung 25: Projekt- und Instrumentvorstellung mit Zielen, Ablauf und Erwartungen aus der Praxis sowie Rechnern zum Testen für die Veranstaltungsteilnehmenden (Foto: K. Spohrer)

8.2 AUSBLICK

Im Rahmen der Experten- und Anwenderbeteiligung (Interviews, Workshop, Praxistest) wurde das Prognoseinstrument prinzipiell positiv beurteilt. Zentrale Anregungen waren jedoch:

- **Den dauerhaften Zugang zu dem webbasierten Prognoseinstrument sicherzustellen. Dazu müssen Vereinbarungen mit dem Land Baden-Württemberg getroffen werden, welche die Ansiedlung und Betreuung dieses Webdienstes regeln.**
- **Das Prognoseinstrument zu einem Expertensystem auszubauen, indem eine stetige Erweiterung sowie Verbesserung der Datenbasis im System stattfindet und somit ein institutionenübergreifendes, d.h. landeseinheitliches System für Planungen und Genehmigungsverfahren etabliert wird.**

Darüber hinaus wurde eine Reihe von Korrektur- und Verbesserungsmaßnahmen identifiziert, welche erforderlich sind, um dauerhaft die Praxistauglichkeit des Prognoseinstruments zu gewährleisten:

Wahlmöglichkeiten

- Neben der freien Wahl des Bezugsraums, die mit dem Instrument möglich ist, sollte auch noch die Auswahl von vordefinierten Bezugsräumen wie etwa Gemeinden und Landkreisen ermöglicht werden.
- Die pflanzenverfügbare Wasserspeicherkapazität, also nutzbare Feldkapazität eines Bodens sollte korrigierbar sein, um kleinräumige Bodeneigenschaften besser berücksichtigen zu können und somit die grobe Auflösung der Bodenkarte individuell zu flexibilisieren.
- Der fixe Bewässerungsstartwert von 60 % der nFK und der fixe Bewässerungszielwert von 80 % der nFK sollten individuell angepasst werden können, so dass auch pflanzenspezifische Ansprüche berücksichtigt werden können.
- Es sollte eine freie Angabe für die minimale Bewässerungsmenge möglich sein, weil in der Praxis normalerweise keine Bewässerung mit weniger als 10 l/m² erfolgt.
- Neben der Startbewässerung sollte auch noch die Angabe einer benutzerdefinierten Zusatzbewässerung möglich sein, so dass sich über die Vorgaben des Systems hinaus eine größere Flexibilität bei der Wasserbedarfsberechnung ergibt.

Ergebnisdarstellung

- Die Darstellung der Ergebnisse in Tabellen und Grafiken sollte optisch verbessert werden und gleichzeitig sollte eine Rundung der Werte erfolgen, da die Genauigkeit der Ergebnisse nicht den angezeigten Nachkommastellen entspricht.
- Die Darstellung der Ergebnisse sollte um weitere Informationen ergänzt werden, um besseren Planungsmöglichkeiten zu erzielen wie z.B.:
 - Die tabellarische Auflistung des Wasserbedarfs einzelner Feldkulturen auf verschiedenen Böden innerhalb einer Kulturabfolge oder Fruchtfolge sowie deren räumliche Verteilung.
 - Eine tabellarische Auflistung und grafische Einbindung der Niederschlags- und Bewässerungsmengen.
- Zur besseren Orientierung im Raum sollten auch Orthofotos hinterlegt werden können.
- Die individuellen Eingabeeinstellungen und die kartografischen, grafischen und tabellarischen Ergebnisse sollten auf dem eigenen Rechner speicherbar und zu einem späteren Zeitpunkt wieder abrufbar sein.
- Eine GIS-Schnittstelle sollte im Programm eingerichtet werden um eine flexiblere Weiterverarbeitung der kartografischen Ergebnisse zu ermöglichen.
- Modelltransparenz: Nach einer Wasserbedarfsrechnung sollten auch Hinweise auf die Modellannahmen und die Variabilität der verwendeten Datenbasis wie z.B. Niederschlag, Evaporation, Wasserspeicherkapazität und Gründigkeit der Böden abrufbar sein so dass die Sicherheit der Ergebnisse besser erkennbar ist.

Berechnungsgrundlagen

- Aufgrund des 25x25 km Rasters der Klimaprojektionspunkte basieren die Berechnungen zum Bewässerungsbedarf auf grobkacheligen Klimadaten, wodurch sich an den Kachelgrenzen z.T. auffällige Ergebnisdifferenzen oder beim Wechsel in andere Landschaftsräume unplausible Ergebnisse ergeben. Deshalb sollte eine Interpolation zwischen den Klimapunktswerten und eine Verschneidung mit den naturräumlichen Grenzen von Großlandschaften vorgenommen werden.

- Die Verteilung der Niederschlagstage sollte dynamisch erfolgen, denn die derzeitige Verteilung kann zwar prinzipiell durch den Nutzer frei definiert werden, erfolgt aber mit statischen, d.h. gleichlangen Abständen der Niederschlagstage entsprechend immer gleich langen Trockenphasen im Jahresverlauf.
- Eine Startbewässerung sollte in der Woche mit dem Saat- oder Pflanztermin erfolgen und nicht wie derzeit im Programm vorgesehen bereits eine Woche vor dem Pflanz- oder Saattermin.
- Das Wurzelwachstum von Setzlingen sollte mit Wurzeltiefen von rund 10 cm beginnen und dann kontinuierlich die Endtiefe erreichen. Es sollte nicht sofort mit 30 cm beginnen wie derzeit im Programm vorgesehen. Denn dadurch steht den Pflanzen theoretisch mehr Bodenwasser zur Verfügung als in der Realität, so dass die Bedarfsprognosen niedriger ausfallen.

Ergänzungsoptionen

- Im Instrument sollte eine Frostschutzberegnung wählbar sein, z.B. im Pflanzenmenu als „Frostschutz-Kultur“.
- In das Programm sollten neben den einjährigen Feldkulturen auch Dauerkulturen wie z.B. Beerenobst, Stammobst, Weinreben oder Hopfen integriert werden.
- Der Tunnelanbau von Kulturen wie z.B. Auberginen oder Paprika wird im Klimawandel zunehmen und zu einem erhöhten Wasserbedarf führen, so dass eine entsprechende Integration in das Prognoseinstrument erfolgen sollte.
- Zusätzlich zu den drei mittleren Klimaszenarien für die Gegenwart, nahe Zukunft und ferne Zukunft sollten auch günstigere und ungünstigere Szenarien wählbar sein.
- Das Prognoseinstrument sollte eine Kalibrierungsmöglichkeit umfassen, die auf Niederschlags- und Bewässerungsdaten der letzten Jahre zurückgreift und somit die Berechnungsbasis kontinuierlich verbessert.
- Neben der benutzerdefinierten Auswahl und Verteilung von Kulturpflanzen wurde auch die Vorhaltung von agrarstatistischen Daten im Programm angeregt, um z.B. bei der Maßstabebene von Kommunen oder Landkreisen auf eine automatisierte Anbauverteilung zurückgreifen zu können.
- Die ergänzende Berücksichtigung von Wechselwirkungen einer Beregnung mit Gewässerreinigung, Temperaturentwicklung oder Wasserkonkurrenzen wurde angeregt, wird aber nur längerfristig erreichbar sein.

Programmarchitektur

Für einen operativen und vor allem dauerhaften Service sind einige technische und organisatorische Anforderungen zu klären bzw. zu erfüllen:

- Um einer hohen Nutzerlast standzuhalten, sind einige software- bzw. datenmäßige Weiterentwicklungen notwendig, die für die Performance von besonderer Relevanz sind. Hier ist insbesondere eine Portierung der Datenhaltung in ein Datenbanksystem zu nennen, was aus Ressourcengründen im BeProBW-Projektzeitraum zurückgestellt werden musste.
- Prinzipiell müssen vor allem der langfristige Betriebsmodus und die Trägerschaft geklärt werden. Denn aktuell wird das Portal auf einem geomer-Server mitbetrieben. Langfristig müsste aber die Finanzierung hierfür geklärt werden bzw. in jedem Fall das System auf eine leistungsfähigere Infrastruktur portiert werden. Neben den reinen Hosting-Kosten fallen auch Aufwände für Wartung, Updates und Web-Sicherheit an, die durch einen beauftragten Träger gewährleistet sein müssen.
- Ein System wie das BeProBW-Prognosewerkzeug kann im Web-Bereich nur attraktiv gehalten werden, wenn in gewissen Abständen Ergänzungen und Aktualisierungen vorgenommen werden. Dies betrifft das Layout genauso wie die zeitgemäße Benutzerführung und Unterstützung aktueller Browser.
- Zwecks Verbesserung der Ergebnisse ist zu prüfen, ob neuere Klimadatensätze eine besser Eignung und Vollständigkeit bieten sowie durch eine Integration von Naturraumgrenzen optimiert werden können (s.a. oben unter „Berechnungsgrundlagen“). Zumindest über eine manuelle Nacharbeitung ist dies korrigierbar.
- Von Nutzerseite wurde neben den o.g. Aspekten zudem gewünscht, dass Ausgabe- und Druckfunktionen in das Programmsystem integriert werden sollten, die Übertragung eigener Flächenpolygone an das System, z.B. der Fläche eines Bewässerungsverbandes möglich sein sollten. Zudem sollten Nutzereingaben für spätere Berechnungen individuell speicherbar sein. Hierzu wäre neben der Implementierung der Funktionalität auch der Ausbau einer Nutzerverwaltung notwendig.

9 Quellenverzeichnis

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. & Smith, M. (1998): Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper No. 56, 300 p., FAO Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. pp.
- Berthold, G. (2013): Landwirtschaftlicher Berechnungsbedarf in der nördlichen Oberrheinebene. – KLIWA-Berichte Heft 19, 196-209
- Blomenhofer, A., Gudera, T., Neumann, J., Schwebler, W., Sprenger, W., Wingerling, M. und Morhard, A. (2009): Auswirkungen des Klimawandels auf Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz. – KLIWA Heft 17, 112 S.
- Bremicker, M. (2000): Das Wasserhaushaltsmodell LARSIM - Modellgrundlagen und Anwendungsbeispiele. - Freiburger Schriften zur Hydrologie, Band 11
- CHANGES (2015): CHANGES - Changing Hydro-meteorological Risks – as Analyzed by a New Generation of European Scientists (Final Report). - http://www.changes-itn.eu/Portals/0/Content/Project%20Documents/Deliverables/CHANGES_Final_Report_small.pdf
- Doorenbos, J. und Pruitt, W. O. (1977). FAO Irrigation and drainage paper No. 24. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. pp 154
- Dreyer, M., Konrad, W. und Scheer, D. (2015). Partizipative Modellierung: Erkenntnisse und Erfahrungen aus einer Methodengese. In: Niederberger, M. und Wassermann, S. (eds.), Methoden der Experten- und Stakeholdereinbindung in der sozialwissenschaftlichen Forschung. Heidelberg: Springer, 267-291.
- DWA - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (2017, Hrsg.): Wasserwirtschaftliche Bewertung zur Entnahme von Wasser zur Bewässerung. – Merkblatt DWA-M 590 (Gelbdruck vom Mai 2017 – Internet-Abruf am 29.05.2017 von www.dwa.de)
- DWD – Deutscher Wetterdienst (2017): Agrowetter Berechnung - interaktives Online-System für Berechnungsempfehlungen. - <http://www.dwd-shop.de/index.php/default/dwd-favoriten/berechnung.html>), letzter internet Aufruf am 28.11.2017
- e-dric.ch, Agroscope-IDU & Pro AgriculturaSeeland zusammensetzt (2016): Irrigation Seeland - Broye (ISB) - Ein online Prognose-Werkzeug. - Projekt im Rahmen des Pilotprogramms zur Anpassung an den Klimawandel für das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Internet-Aufruf am 26.10.2017 von <http://www.isb.swissrivers.ch>.

- Grocholl, J., Anter, J., Asendorf, R., Feistkorn, D., Mensching-Buhr, A., Nolting, K., Riedel, A., Schossow, R., Thörmann, H.-H. und Urban, B. (2014): Wasser sparen im Ackerbau, Landwirtschaft im Klimawandel: Wege zur Anpassung – Forschungsergebnisse zu Anpassungsstrategien der Landwirtschaft in der Metropolregion Hamburg an den Klimawandel, Teil 4, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Uelzen, 127 S.
- Groos, U. (2008): Anbau von Sonderkulturen in Südhessen und deren Problematik, Vortrag Gernsheim 21. Mai 2008
- Hageneder, F. (2013): Forschungsprojekt „Optimierung der Bewässerungssteuerung für den Freilandgemüseanbau“ Abschlussbericht 2008-2011
- Hochschule Geisenheim (2017a): Geisenheimer Bewässerungssteuerung 2017 – für FAO56-Grasverdunstung. – Publiziert in Hortigate am 7.02.2017: <https://www.hortigate.de>
- Hochschule Geisenheim (2017b): Geisenheimer Bewässerungssteuerung 2017 – für Penman-Verdunstung -. https://www.hs-geisenheim.de/.../kc-Werte_PENMAN_2017.pdf, Internet-Aufruf am 08.05.2017
- IGZ (2007): Düngung im Freilandgemüsebau, 2. Auflage. IGZ Großbeeren, Hrsg. Matthias Fink
- KTBL Darmstadt (2009): KTBL Datensammlung Gartenbau Produktionsverfahren planen und kalkulieren.
- KTBL Darmstadt (2013): Freilandbewässerung Betriebs- und arbeitswirtschaftliche Kalkulationen
- Laber, H. (2015): Bewässerungs- und Sorteneffekte bei Feldgemüse. Schriftenreihe, Heft 23/2015. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) (Hrsg.)
- LBEG (2016): Fachprogramm ‚Bodenwasserhaushalt‘ zur Berechnung von Kennwerten zur Beregnungssteuerung. - <http://nibis.lbeg.de/cardomap3/?L-CUST-Bowab=DOCKED>
- LK-NI – Landwirtschaftskammer Niedersachsen (2015): KMU-innovativ Verbundprojekt LandCaRe-DSS: Modellbasierte Werkzeuge für strategische und operationelle Maßnahmen der Bewässerung unter Klimawandel Teilprojekt 4.- Schlussbericht, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Uelzen, 12. S
- LTZ – Landwirtschaftliches Technologiezentrum (2014): Feldversuchswesen Ackerbau - Produktionstechnische Versuche 2014 - Vorläufige Versuchsergebnisse - Wassereffizienz und Beregnungswürdigkeit versch. Kulturen und Sorten (V09-03). - <http://www.ltz-bw.de/pb/Lde/Startseite/Arbeitsfelder/Bewaesserung>
- LUBW – Landesanstalt für Umweltschutz Ba.-Wü. (2013, Hrsg.): Zukünftige Klimaentwicklung in Baden-Württemberg - Perspektiven aus regionalen Klimamodellen. – Von: Wagner, A., Gerlinger, K., Chomoev, E., Mast, M., Höpker, K.-A. und Schulz-Engler, D., LUBW Karlsruhe, 164 S.
- Müller, U., Engel, N., Heidt, L., Schäfer, W., Kunkel, R., Wendland, F., Röhm, H. und Elbracht, J. (2012): Klimawandel und Bodenwasserhaushalt. - GeoBerichte 20, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie

- Olberz, M. (2016): GPS- und servergestütztes Beratungssystem zur Bewässerungssteuerung nach Klimatischer Wasserbilanz von Gemüse (GS-Mobil). - <http://www.hs-geisenheim.de/forschungszentren/institut-fuer-gemuesebau/forschung/ble-gs-mobil.html>
- Paschold, P. J., Kleber und J., Mayer, N. (2002). Geisenheimer Bewässerungssteuerung. Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft 37, 2002, 1, 5-15
- Paschold, Peter-J. (2010): Bewässerung im Gartenbau. Ulmer Verlag
- Pfleger, I. (2008): Anbau von Kopfkohl für die Frischmarktproduktion mit unterschiedlichen Beregnungsvarianten. Versuche im Deutschen Gartenbau 2008
- Pohl, C., Hirsch Hadorn, G. (2006): Gestaltungsprinzipien für transdisziplinäre Forschung. 119 S., München.
- Schoellkopf-Ochs (2012): Aktuelle Versuchsergebnisse zur Bewässerung LRA Karlsruhe und LTZ. - <https://www.landwirtschaft-bw.info/pb/MLR.ULBKA.Lde/Startseite/Fachinformationen/Pflanzenbau>
- SGD-Süd (Hrsg.) (2011): Nachhaltige landwirtschaftliche Bewässerung in der Südpfalz – Vertiefende wasserwirtschaftliche Untersuchungen für den Raum Hochstadt und in den Flächen der Tabakkon-version. – Untersuchungsbericht der BGS Umwelt GmbH, 80 S.
- Smith, M. (1992). CROPWAT: A computer program for irrigation planning and management (No. 46). FAO Rome..
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stuttgart, 2011: Agrarstrukturen in Deutschland Einheit in Vielfalt. Regionale Ergebnisse der Landwirtschaftszählung 2010
- Statistisches Bundesamt (2017): <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/Produktionsmethoden/Tabellen/Bewaesserungsmoeglichkeiten.html>
- TTL - Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (2012): BERWA - Programm zur Berechnung des Zusatzwasserbedarfes für Beregnungsanlagen (excel-Anwendung)
- uizentrum (2016): <http://uizentrum.de/webgis-allgemeine-systemarchitektur/>
- Waldmann, F. & Weinzierl, W. (2004): Beregnung Nördlicher Oberrhein (für RP Karlsruhe) - Bodendaten (nFK) und Angaben zum Bewässerungsbedarf landwirtschaftlich genutzter Flächen in der nördlichen Oberrheinebene. – Kurzdokumentation und 4 Karten vom 04.11.2004 des LGRB-BW (Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau) im Auftrag des Regierungspräsidiums Karlsruhe / Abt. Wasserwirtschaft).
- Zinkernagel, J., Weinheimer, S und Mayer, N. (2017): Wasserbedarf von Freilandgemüsekulturen. - Publiziert in Hortigate am 18.08.2017: <https://www.hortigate.de>

10 Anhang

Anhang 1: Infoblatt mit den Projektzielen für die Interview-, Workshop- und Praxistest-Teilnehmenden sowie den Einladungskreis der Abschlussveranstaltung (abgebildet ist hier die aktuellste Version)



Stuttgart und Heidelberg, 21. Februar 2018

Bewässerungs-Prognose Baden-Württemberg (BeProBW)

Ein interaktives Beratungs- und Planungswerkzeug zur Visualisierung und Bilanzierung des landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarfs im Klimawandel

Ein Projekt im Programm „KLIMOPASS“ des Landes Baden-Württemberg

<https://um.baden-wuerttemberg.de/de/klima/klimawandel/klimawandel-in-baden-wuerttemberg/klimaforschung/klimopass/>

Die Ausgangslage

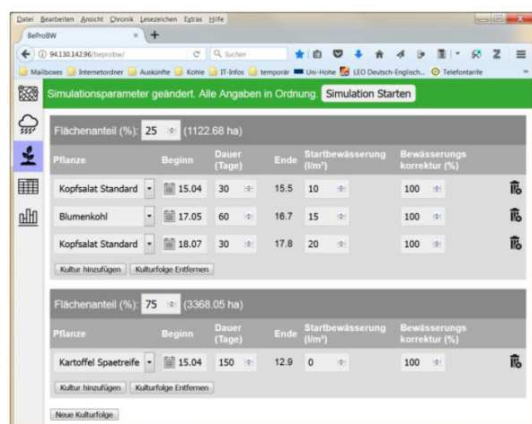
In Süddeutschland wird der Klimawandel mit einer Verstärkung von Wetterextremen verbunden sein. So ist mit längeren und häufigeren Trockenzeiten in der Vegetationsperiode zu rechnen, die zu erhöhtem Bewässerungsbedarf in der Landwirtschaft führen werden. Um den zukünftigen Wasserbedarf zielgerichtet bilanzieren und visualisieren zu können, ist mit dem Projekt BeProBW ein Beratungs- und Planungswerkzeug mit Beteiligung derjenigen entstanden, die an der Thematik ein fachspezifisches Interesse haben und/oder Anwender des Instrumentes sein könnten.

Mit Hilfe des Instruments lassen sich technische Bewässerungsmaßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel ableiten, wie etwa das Ausmaß für erhöhte Förder-, Transport und Zwischenspeicher-Kapazitäten von Beregnungswasser, aber keine tagesspezifischen Prognosen. Außerdem sind auch pflanzenbauliche Alternativen in der Fruchtfolge für eine effizientere Wassernutzung prüfbar, wie etwa die Umstellung von Winter- auf Sommergetreide.

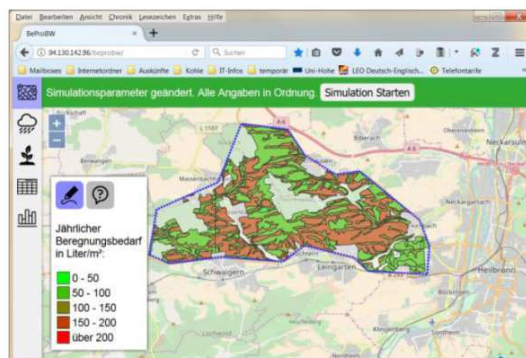
Der Schwerpunkt des Projekts liegt auf den Regionen Oberrhein und Bodensee sowie der Achse Heilbronn-Ludwigsburg-Esslingen, die bereits heute einen verbreiteten Anbau von Gemüse, Kartoffeln oder Mais mit Bewässerung aufweisen.

Das Prognosewerkzeug

Das webbasierte Werkzeug wird als Anwendung für Computer bis hin zum Smartphone öffentlich verfügbar sein. Mit ihm sind Berechnungen für unterschiedliche Szenarien durchführbar.



Dazu sind in dem System räumliche Lage, Zeitraum, Klimaszenario, Anbaukulturen etc. auswählbar. Die Nutzer können aber auch auf einfache Weise eigene Szenarien definieren. Die Ergebnisdarstellung erfolgt in Form von Karten, Grafiken oder Tabellen.



So kann das Instrument z.B. Bewässerungsverbände, Regierungspräsidien, Landratsämter (Landwirtschaft, Wasserwirtschaft), Kommunen und Landesanstalten sowie Landwirtschaftsbetriebe bei einer zukunftsorientierten Bewässerungsplanung unterstützen.

Der Projektlauf

Für die Realisierung des Werkzeugs wurden Wissen und Erfahrung von Expertinnen und Experten einbezogen.

Dazu wurden im Frühjahr 2017 zunächst telefonische Interviews geführt. Basierend auf den Ergebnissen fand ein erster Expertenworkshop statt, bei dem die Anforderungen an das Beratungs- und Planungswerkzeug diskutiert und festgehalten wurden.



Grafik: M. Billen

Im Anschluss daran wurde das Werkzeug ausgearbeitet und programmiert. Im Februar 2018 wird ein Praxistest für eine Beispielregion gemeinsam mit lokalen Interessenten und Experten der Beregnungsberatung durchgeführt, um die Funktionalität des Werkzeugs zu überprüfen und zu verbessern. In einer Abschlussveranstaltung am 26.04.2018 werden die Projektergebnisse und das Werkzeug öffentlich präsentiert.

Das Projektteam: N. Billen (terra fusca ing. PartG), A. Assmann, S. Bechtold (geomer GmbH), B. Malburg-Graf (DIALOGIK GmbH), H. Sauer (Lehr- und Versuchsanstalt Gartenbau Heidelberg), K. Spohrer (Inst. für Agrartechnik, Univ. Hohenheim).

Anhang 2: Institutionen mit Bezug zum Bewässerungslandbau als Ergebnis der Erstidentifizierung potenzieller Experten und Akteure mit direktem und indirektem Bezug zur Praxis

Gruppe	Institution
Betriebe	Landwirtschaftsbetrieb
Beratungsdienst	Beratungsdienst Kartoffelanbau Heilbronn e.V. Gartenbaulicher Beratungsdienst für integrierten Gemüsebau Heilbronn e.V. Nüpa GmbH; Überregionaler Beratungsdienst (KA) mit Spezialmodul Bewässerung Überregionaler Beratungsdienst (Karlsruhe) mit Spezialmodul Bewässerung Überregionaler Beratungsdienst (Ludwigsburg) mit Spezialmodul Bewässerung
Beregnungsverband	Beregnungsverband Filderstadt-Bernhausen Wasser- und Bodenverband / Beregnungsverband Mannheim/Heidelberg Wasser- und Bodenverband Nördlicher Breisgau
Wasserversorger	Stadtwere Filderstadt, Betriebszweig Wasserversorgung Zweckverband Bodensee-Wasserversorgung Zweckverband Landeswasserversorgung
Interessensverband	Dt. Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. - Landesverband BW Gartenbauverband Landesbauernverband in Baden-Württemberg e.V.
Landesfachbehörde	Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) LUBW / Abteilung Nachhaltigkeit und Naturschutz, m. Ref. 23: Klimawandel LUBW / Abteilung Wasser Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Wein- und Obstbau (LVWO) Staatliches Weinbauinstitut Freiburg (WBI)
Landratsamt	Breisgau-Hochschwarzwald, Landwirtschaft und Wasserwirtschaft Emmendingen, Landwirtschaft und Wasserwirtschaft Göppingen, Landwirtschaft und Wasserwirtschaft Heilbronn, Landwirtschaft und Wasserwirtschaft Karlsruhe, Landwirtschaft und Wasserwirtschaft Konstanz, Landwirtschaft (in Stockach) und Wasserwirtschaft Rhein-Neckar-Kreis, Landwirtschaft und Wasserwirtschaft
Regierungspräsidium	Regierungspräsidium Freiburg, Gewässer I. Ordnung...(Referat 53) Regierungspräsidium Freiburg, Gewässer und Boden (Ref. 52) Regierungspräsidium Freiburg, Referat 33, Pflanzliche und tierische Erzeugung Regierungspräsidium Karlsruhe, Gewässer I. Ordnung...(Referat 53) Regierungspräsidium Karlsruhe, Gewässer und Boden (Ref. 52) Regierungspräsidium Karlsruhe, Referat 33, Pflanzliche und tierische Erzeugung Regierungspräsidium Stuttgart Gewässer und Boden (Ref. 52) Regierungspräsidium Stuttgart, Gewässer I. Ordnung...(Referat 53) Regierungspräsidium Stuttgart, Referat 33, Pflanzliche und tierische Erzeugung Regierungspräsidium Tübingen, Gewässer I. Ordnung...(Referat 53) Regierungspräsidium Tübingen, Gewässer und Boden (Ref. 52) Regierungspräsidium Tübingen, Referat 33, Pflanzliche und tierische Erzeugung
Ministerium	Ministerium für ländl. Raum u. Verbraucherschutz, Ref. 23 Pflanzenproduktion Ministerium für ländl. Raum u. Verbraucherschutz, Ref. 24 Garten-, Obst- u. Weinbau Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, Referat 22 Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, Referat 54, Boden und Altlasten, Grundwasserschutz und Wasserversorgung



Dr. Barbara Malburg-Graf
Fon: +49 (0)7191 90 25 909
malburg-graf@dialogik-expert.de

Stuttgart, 01.03.2017

BeProBW - Interviews mit Expertinnen und Experten in den Landratsämtern der Landkreise Breisgau-Hochschwarzwald, Emmendingen, Esslingen, Heilbronn, Karlsruhe, Konstanz und Rhein-Neckar-Kreis

1. Person und Funktion

- 1.1 Was ist Ihr Zuständigkeitsbereich (inhaltlich, räumlich)?
- 1.2 Welche Aufgaben nehmen Sie wahr?

2. Empfehlungen zu weiteren Personen bzw. Experten

- 2.1 Wer ist in Ihrem Landratsamt zuständig für „Bewässerung in der Landwirtschaft?“
- 2.2 Wer ist Ansprechpartner für andere Wassernutzungen bzw. Wasserwirtschaft insgesamt?
- 2.3 Welche weiteren Institutionen oder Organisationen sollten von uns einbezogen werden, z.B. Bewässerungsverband?
- 2.4 Welche(r) Experte / Experte sollte von uns aus Ihrer Sicht außerdem kontaktiert bzw. befragt werden?

3. Aktuelle Situation der Bewässerung

- 3.1 Welche Bedeutung hat die Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen in Ihrem Wirkungskreis?
- 3.2 Bei welchen Kulturen findet derzeit Bewässerung statt?
- 3.3 Welche Veränderungen in Bezug auf den Wasserbedarf zur Bewässerung beobachten Sie in den vergangenen Jahren? Welche Kulturen sind von den Veränderungen besonders betroffen?
- 3.4 Woher stammt das Bewässerungswasser?
- 3.5 Welche Bewässerungstechniken kommen in Ihrem Wirkungskreis zum Einsatz (Beispiele: Kreisberegnung, mobile Beregnung wie Beregnungskanonnen, Tropfbewässerung)?

4. Aktuelle Daten-und Informationslage

- 4.1 Welche Informationen und Daten stehen Ihnen aktuell für die Bewässerungsplanung bzw. Bewässerungsberatung zur Verfügung?
- 4.2 Gibt es eine Datenerfassung oder Datenbank zum Bewässerungsgeschehen?

Stuttgart, 01.03.2017

- 4.3 Wie groß ist die derzeit bewässerte Fläche etwa bzw. welche Zahlen liegen Ihnen dazu aus den letzten Jahren vor?
- 4.4 Welche Zahlen liegen zu den in den vergangenen Jahren benötigten Bewässerungsmengen vor?
- 4.5 In welchem Rahmen bewegen sich die bewilligten Förderquoten der einzelnen Wasser-Entnahmestellen?
- 4.6 Falls die Fragen 4.2 bis 4.5 nicht beantwortet werden können: Wer könnte das wissen und uns diese Daten zur Verfügung stellen?
- 4.7 Nutzen Sie schon ein Beratungs- und Planungsinstrument als Unterstützung? Wenn ja, welche(s)?

5. Handlungsbedarf in Bezug auf Klimaanpassungsstrategien

- 5.1 Inwieweit erkennen Sie einen Handlungsbedarf in Bezug auf eine Anpassung an den Klimawandel im Bereich der Bewässerung in der Landwirtschaft?
- 5.2 Welche Lösungsansätze erkennen Sie für diesen Handlungsbedarf?
- 5.3 Welche Nutzungen/Nutzer stehen künftig in verstärkter Konkurrenz um das verfügbare Wasser?
- 5.4 Inwieweit zeichnen sich in Ihrem Bereich jetzt schon Konflikte im Bereich der Wassernutzung durch unterschiedliche Nutzungen / Nutzer ab?

6. Bedarf an Daten und Informationen sowie Beratungs- und Planungshilfen

- 6.1 Welche Art von Informationen, die Sie zurzeit noch nicht zur Verfügung haben, hätten Sie gerne für eine bessere Planung und/oder Beratung?
- 6.2 Welche Art von Beratungs- und/oder Planungshilfe wäre für Sie hilfreich?
- 6.3 Wenn Sie sich das im Projekt zu entwickelnde Beratungs- und Planungswerkzeug vorstellen: was sollte es aus Ihrer Sicht können?
- 6.4 Welche Anforderungen haben Sie an die räumliche Genauigkeit bzw. den Maßstab einer räumlichen Prognose?
- 6.5 Auf welcher Plattform würden Sie das Werkzeug vorzugsweise anwenden: am Arbeitsplatz-PC, als Handy-App oder welche weiteren, anderen Anforderungen hätten Sie?
- 6.6 Haben Sie Interesse, das Projektteam bei der Entwicklung eines solchen Instruments zu unterstützen?

7. Was würden Sie gerne außerdem noch mitteilen?



Dr. Barbara Malburg-Graf
Fon: +49 (0)7191 90 25 909
malburg-graf@dialogik-expert.de

Stuttgart, 06.04.2017

BeProBW - Interviews mit Expertinnen und Experten im Bereich Wassernutzung in den Landratsämtern der Landkreise Breisgau-Hochschwarzwald, Emmendingen, Esslingen, Heilbronn, Karlsruhe, Konstanz und Rhein-Neckar-Kreis

1. Person und Funktion

- 1.1 Was ist Ihr Zuständigkeitsbereich (inhaltlich, räumlich)?
- 1.2 Welche Aufgaben nehmen Sie wahr?

2. Empfehlungen zu weiteren Personen bzw. Experten

- 2.1 Welche weiteren Institutionen oder Organisationen sollten von uns einbezogen werden, z.B. Bewässerungsverband?
- 2.2 Welche(r) Experte / Experte sollte von uns aus Ihrer Sicht außerdem kontaktiert bzw. befragt werden?

3. Aktuelle Situation der Bewässerung

- 3.1 Welche Bedeutung hat die Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen in Ihrem Wirkungskreis?
- 3.2 Welche Veränderungen in Bezug auf den Wasserbedarf zur Bewässerung beobachten Sie in den vergangenen Jahren? Welche Kulturen sind von den Veränderungen besonders betroffen?
- 3.3 Woher stammt das Bewässerungswasser?

4. Aktuelle Daten-und Informationslage

- 4.1 Gibt es eine Datenerfassung oder Datenbank zum Bewässerungsgeschehen?
- 4.2 Wie groß ist die derzeit bewässerte Fläche etwa bzw. welche Zahlen liegen Ihnen dazu aus den letzten Jahren vor?
- 4.3 Welche Zahlen liegen zu den in den vergangenen Jahren benötigten Bewässerungsmengen vor?
- 4.4 In welchem Rahmen bewegen sich die bewilligten Förderquoten der einzelnen Wasser-Entnahmestellen?
- 4.5 Falls die Fragen 4.1 bis 4.4 nicht beantwortet werden können: Wer könnte das wissen und uns diese Daten zur Verfügung stellen?



Dr. Barbara Malburg-Graf
Fon: +49 (0)7191 90 25 909
malburg-graf@dialogik-expert.de

Stuttgart, 06.04.2017

5. Handlungsbedarf in Bezug auf Klimaanpassungsstrategien

- 5.1 Inwieweit erkennen Sie einen Handlungsbedarf in Bezug auf eine Anpassung an den Klimawandel im Bereich der Bewässerung in der Landwirtschaft?
- 5.2 Welche Lösungsansätze erkennen Sie für diesen Handlungsbedarf?
- 5.3 Welche Nutzungen/Nutzer stehen künftig in verstärkter Konkurrenz um das verfügbare Wasser? Inwieweit zeichnen sich in Ihrem Bereich jetzt schon Konflikte im Bereich der Wassernutzung durch unterschiedliche Nutzungen / Nutzer ab?

6. Bedarf an Daten und Informationen sowie Beratungs- und Planungshilfen

- 6.1 Welche Art von Informationen, die Sie zurzeit noch nicht zur Verfügung haben, hätten Sie gerne für eine bessere Planung und/oder Beratung?
- 6.2 Hat die Entwicklung des geplanten Prognoseinstrumentes für Ihren Arbeitsbereich eine Relevanz?
- 6.3 Haben Sie Interesse, das Projektteam bei der Entwicklung eines solchen Instruments zu unterstützen?

7. Was würden Sie gerne außerdem noch mitteilen?



Experten-Workshop BeProBW

Bewässerungsprognose Baden-Württemberg im Klimawandel



am 27.06.2017 in Heidelberg

Programm (Stand 22.06.2017)

13.00	Eintreffen bei Getränken und kleinen Snacks	
13.30	Begrüßung und Vorstellung des Projektteams	Christoph Hintze (Leiter der LVG Heidelberg) André Assmann (Projektleiter BeProBW, geomer)
13.40	Vorstellung der Projektziele des Projekts BeProBW	Norbert Billen (terra fusca)
13.50	Vorstellung der Anwesenden und Einführung in das Programm	Barbara Malburg-Graf (DIALOGIK)
14.00	Wesentliche Ergebnisse der Experten-Interviews und Schlussfolgerungen für das Projekt	Barbara Malburg-Graf und Norbert Billen
14.10	Vorstellung des geplanten internetbasierten Planungs- und Bewertungsinstruments	Sebastian Bechtold (geomer)
14.20	Fragerunde und Diskussion	Moderation Barbara Malburg-Graf
15.00	Kaffeepause	
15.15	Workshop mit allen Anwesenden in kleinen Gruppen: Welche Anforderungen soll BeProBW erfüllen?	Alle Teilnehmenden unter Moderation des Projektteams
16.30	Vorstellung der Ergebnisse im Plenum und Festhalten von Ergebnissen	Moderation Barbara Malburg-Graf
17.00	Abschluss und Ausblick	André Assmann und Norbert Billen
17.15	Ende	

ANMELDUNG

Die Veranstaltung findet am **26. 04. 2018** statt.
Die Teilnahme ist kostenlos.

Wir bitten um Anmeldung bis zum **20.04. 2018**
per E-Mail an:

beprobw@dialogik-expert.de

Dort können Sie auch Rückfragen stellen.
Barbara Malburg-Graf und Christine Volk
informieren Sie gerne.

VERANSTALTUNGS ORT

Aula der
Staatlichen Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau (LVG)
Diebsweg 2
69123 Heidelberg

Einen Lageplan finden Sie auf www.lvg-heidelberg.de

ÖPNV-Anfahrt mit Straßenbahn HSB22
bis Haltestelle Henkel-Teroson-Str.

BeProBW TEAM

André Assmann, Sebastian Bechtold, Daniel Böhme
geomer GmbH, Heidelberg
06221 / 89458-41, aassm@geomer.de

Norbert Billen
terra fusca ing. PartG, Stuttgart
0711 / 4560400, n.billen@terra-fusca.de

Barbara Malburg-Graf, Christine Volk
DIALOGIK gGmbH, Stuttgart
07191 / 9025909, beprobw@dialogik-expert.de

Heike Sauer
Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau (LVG), Heidelberg
06221 / 7484-12, heike.sauer@lvg.bwl.de

Klaus Spohrer
Universität Hohenheim / Institut für Agrartechnik, Stuttgart
0711 / 459-23281, klaus.spohrer@uni-hohenheim.de

terrafusca
ingenieure

DIALOGIK
gemeinnützige Gesellschaft für Kommunikations-
und Kompetenzentwicklung

LVG Heidelberg

geomer
GEORTELLIGENCE AND BEYOND



BEWÄSSERUNGSPROGNOSE
Baden-Württemberg im Klimawandel

EIN LADUNG

ZUR ABSCHLUSSVERANSTALTUNG



PROGRAMM

13.00 Eintreffen bei Getränken und kleinen Snacks

13.30 Begrüßung
Christoph Hintze (Leiter der LVG)

13.35 Einführung in das Programm
Barbara Malburg-Graf

13.40 Gastvortrag: Auswirkungen des Klimawandels
auf den Wasserbedarf von Gemüsekulturen
Jana Zinkernagel (Professorin an der Hochschule Geisenheim)

14.10 Ziele und Ablauf von BeProBW
Norbert Billen

14.20 Erwartungen aus der Praxis
*Heike Sauer
Barbara Malburg-Graf*

14.35 Vorstellung des Prognoseinstruments

Fachlicher Hintergrund und Modellannahmen
Klaus Spohrer

Technische Umsetzung der Anforderungen
und Annahmen im Instrument
André Assmann

Programmfunktionen und Ergebnisdarstellung
Norbert Billen



15.00 Fragen und Diskussion
Barbara Malburg-Graf (Moderation)

15.20 Kaffeepause und Möglichkeit
zum Testen des BeProBW-Instruments

15.45 Erfahrungsberichte aus einem Praxistest
und Gespräch mit dem Plenum
- *Martin Zimmermann (Landratsamt
Göppingen / Landwirtschaft)*
- *Martin Lindenlaub (Landratsamt Breisgau-
Hochschwarzwald / Wasserwirtschaft)*
- *Daniel Jung (Landwirt)*

16.15 Ausblick
André Assmann

16.25 Verabschiedung
Heike Sauer

16.30 Ende

BeProBW ist ein Projekt im Programm KLIMOPASS
des Landes Baden-Württemberg

HINTERGRUND

In Süddeutschland wird der Klimawandel mit einer Verstärkung von Wetterextremen verbunden sein. So wird mit längeren und häufigeren Trockenzeiten in der Vegetationsperiode gerechnet, die zu erhöhtem Bewässerungsbedarf in der Landwirtschaft führen werden.

Bei der Veranstaltung wird deshalb ein webbasiertes Berechnungsinstrument vorgestellt, welches auch zum Testen verfügbar ist. Es entstand unter Beteiligung von Experten und Praktikern und visualisiert den zukünftigen Wasserbedarf auf lokaler und regionaler Ebene. So lassen sich Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel ableiten, wie etwa erhöhte Wasserförderkapazitäten oder alternative Fruchtfolgen für eine effizientere Wassernutzung.

Das Berechnungsinstrument von BeProBW ist relevant für die Handlungsfelder Landwirtschaft, Wasserwirtschaft und Klimaschutz. Zu unserer Veranstaltung sind Planer, Berater, Praktiker und Entscheidungsträger von Bewässerungsverbänden, Landwirtschaftsbetrieben, Wasserversorgern und Kommunen sowie von Landratsämtern, Regierungspräsidien, Ministerien und Landesfachanstalten herzlich eingeladen.



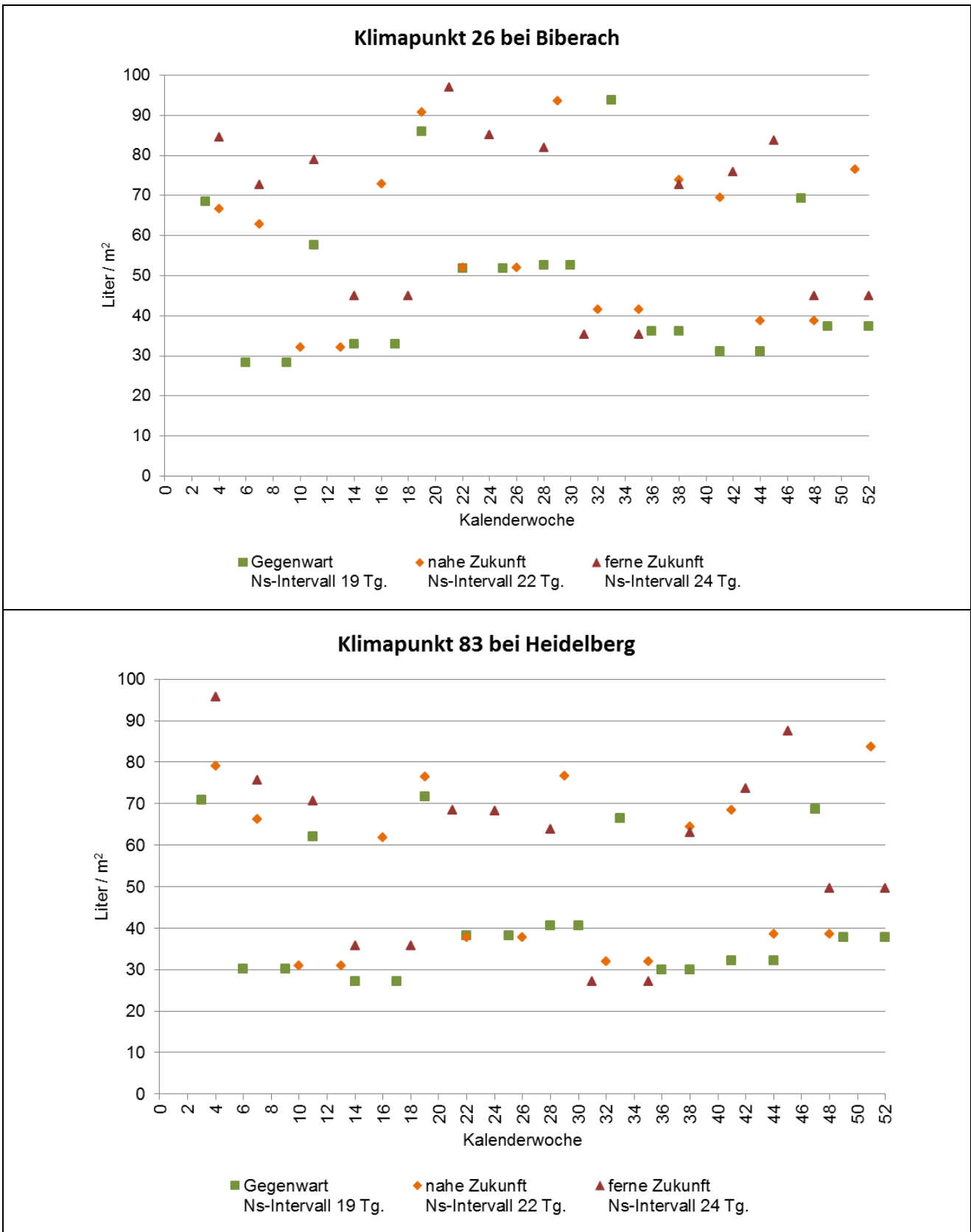
Anhang 9: Klimatische Wasserbilanz (KWB) an den Klimaprojektionspunkten (Kpp) in den BeProBW-Schwerpunktregionen Rhein/Bodensee und Neckar in der Vegetationsperiode (April-Oktober). Berechnung der KWB = Niederschlag – Evaporation nach Penman. i = Ist Gegenwart, n = nahe Zukunft, f = ferne Zukunft; 15, 50, 85 = 15., 50., 85. Perzentil der Ensemble Modellierungen (LUBW 2013)

Region	Stat. Kennwert (Anzahl Kpp)	i15	i50	i85	n15	n50	n85	f15	f50	f85
klimatische Wasserbilanz in der Vegetationsperiode										
Rhein	Mittelwert (20)	83,1	165,1	301,0	22,3	149,0	313,0	-70,3	105,1	284,0
Neckar	Mittelwert (7)	79,4	140,4	263,8	23,5	124,0	267,6	-68,4	86,0	246,8
Sonstige	Mittelwert (83)	130,2	219,3	380,9	75,4	202,0	397,3	-18,6	151,8	366,6
Ba.-Wü.	Mittelwert (110)	118,4	204,4	358,9	62,5	187,4	373,7	-31,2	139,1	344,0
Rhein	Standardabw.	83,2	89,9	104,5	85,7	89,8	104,1	91,9	81,9	98,6
Neckar	Standardabw.	11,6	18,8	12,4	13,0	16,5	19,4	17,7	6,8	21,7
Sonstige	Standardabw.	101,5	125,1	164,3	102,2	117,7	166,4	93,5	97,6	148,0
Ba.-Wü.	Standardabw.	97,0	117,9	154,2	98,3	111,9	156,7	92,5	94,1	140,9

Anhang 10: Trockenheitsindizes an den Klimaprojektionspunkten (Kpp) in den BeProBW-Schwerpunktregionen (in die Bodenwasserbilanz fand nur die „max. Anz. Trockentage“ Eingang, weil diese ausschlaggebend für das maximale Trockenheitsrisiko ist). i = Ist Gegenwart, n = nahe Zukunft, f = ferne Zukunft, 50, 75, 90, 100 = 50., 75., 90., 100. Perzentil der Ensemble Modellierungen (LUBW 2013)

Region	Stat. Kennwert (Anzahl Kpp)	i50	i75	i85	i100	n50	n75	n85	n100	f50	f75	f85	f100
Maximale Anzahl zusammenhängender Trockentage in einem Jahr													
Rhein	Mittelwert (20)	17,6	19,2	21,1	22,4	18,2	20,7	22,0	24,0	18,4	20,8	22,1	25,7
Neckar	Mittelwert (7)	17,3	19,1	20,9	21,8	17,9	20,5	21,5	22,6	18,0	20,1	21,9	26,1
Sonstige	Mittelwert (83)	17,0	18,5	20,3	21,9	17,6	19,9	21,4	22,8	17,7	19,6	21,1	23,9
Ba.-Wü.	Mittelwert (110)	17,2	18,7	20,5	22,0	17,7	20,1	21,5	23,0	17,9	19,8	21,3	24,4
Rhein	Standardabw.	0,8	0,8	1,2	1,1	0,8	1,1	1,0	1,5	1,1	1,3	1,2	2,5
Neckar	Standardabw.	0,4	0,4	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,6	0,3	0,7	0,4	1,7
Sonstige	Standardabw.	0,9	1,0	1,1	1,4	1,0	1,2	1,4	1,7	1,1	1,4	1,5	2,4
Ba.-Wü.	Standardabw.	0,9	1,0	1,2	1,3	1,0	1,2	1,3	1,6	1,0	1,4	1,5	2,5
Mittl. Anzahl zusammenhängender Trockentage in einer Vegetationsperiode													
Rhein	Mittelwert (20)	3,2	3,4	3,6	3,7	3,4	3,8	3,9	4,1	3,8	4,4	4,7	4,9
Neckar	Mittelwert (7)	3,2	3,5	3,6	3,8	3,4	3,8	3,9	4,1	3,8	4,3	4,5	4,7
Sonstige	Mittelwert (83)	3,1	3,3	3,5	3,6	3,3	3,6	3,8	3,9	3,6	4,1	4,4	4,5
Ba.-Wü.	Mittelwert (110)	3,1	3,4	3,5	3,6	3,3	3,6	3,8	4,0	3,7	4,2	4,4	4,6
Rhein	Standardabw.	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2
Neckar	Standardabw.	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,3
Sonstige	Standardabw.	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,4	0,2	0,4	0,4	0,4
Ba.-Wü.	Standardabw.	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,4	0,4	0,4
Mittlere Anzahl niederschlagsfreier Tage im Jahr													
Rhein	Mittelwert	203,5	231,6	242,9	244,0	206,4	229,8	244,0	247,2	203,3	213,9	223,5	234,2
Neckar	Mittelwert	199,9	230,1	240,0	240,9	201,5	226,4	240,3	245,3	200,1	205,9	213,9	233,4
Sonstige	Mittelwert	200,5	224,1	234,3	236,2	200,7	222,6	235,5	239,7	198,0	207,0	216,2	228,0
Ba.-Wü.	Mittelwert (110)	201,0	225,9	236,2	237,9	201,7	224,1	237,4	241,4	199,1	208,2	217,4	229,4
Rhein	Standardabw.	13,0	13,1	10,1	10,2	11,7	15,4	10,0	10,0	11,6	12,3	13,1	14,3
Neckar	Standardabw.	4,9	4,2	3,4	3,5	3,0	3,5	3,3	3,5	2,2	1,0	4,9	8,1
Sonstige	Standardabw.	13,7	12,2	12,9	12,5	12,9	13,7	12,5	12,9	12,6	12,7	13,3	12,3
Ba.-Wü.	Standardabw.	13,1	12,3	12,5	12,1	12,5	13,8	12,1	12,3	12,2	12,5	13,1	12,6

Anhang 11: Niederschlagsmengen im BeProBW-Berechnungsinstrument unter der vereinfachenden Annahme einer gleichmäßigen Niederschlagsverteilung in Orientierung an den maximalen Trockenphasen nach LUBW (2013) am Beispiel der beiden repräsentativen Klimaprojektionspunkte 26 und 83.



Anhang 12: Exemplarische Einzelwerte für das tatsächlich pflanzenverfügbare Wasser bei 100 %iger Sättigung der nFK, für die angenommene Frühjahrssättigung bei 90 %, für den Bewässerungsstartwert bei 60 % der nFK und den Bewässerungsendwert bei 80 % der nFK bei den vier Bodentypen im Programmentwicklungsraum bei Heidelberg

Bodenkartier- einheit der BK50	Leit- Bodentyp	GK [cm]	nFK_100% [l m ⁻²]	Wurzeltiefe	nFK_100% [l m ⁻²]	nFK_090% [l m ⁻²]	nFK_080% [l m ⁻²]	nFK_060% [l m ⁻²]
w63	Parabraunerde	150	206	15	21	19	16	12
				30	41	37	33	25
				60	82	74	66	49
				90	124	111	99	74
w67	Kolluvium	120	198	15	25	22	20	15
				30	50	45	40	30
				60	99	89	79	59
				90	149	134	119	89
w78	Vega	200	250	15	19	17	15	11
				30	38	34	30	23
				60	75	68	60	45
				90	113	101	90	68
w85	Auengley-Vega	150	275	15	28	25	22	17
				30	55	50	44	33
				60	110	99	88	66
				90	165	149	132	99

Anhang 13: Verhältnis von kc-Penman : kc-Penman-Monteith basierend auf den kc-Werten der Hochschule Geisenheim (2017a, 2017b)

Feldkultur	Wachstumsstufe1	Wachstumsstufe2	Wachstumsstufe3	Wachstumsstufe4
Blumenkohl	0,71	0,73	0,75	
Brokoli	0,71	0,73	0,78	
Buschbohnen	0,75	0,73	0,77	
Chinakohl	0,71	0,73	0,75	
Eissalat	0,71	0,73	0,77	0,75
Endiven	0,71	0,73	0,75	
Fenchel	0,71	0,77	0,78	
Wintergetreide	0,80	0,78		
Grünkohl	0,71	0,73	0,75	0,78
Gurke	0,71	0,73	0,73	
Kartoffel	0,80	0,75	0,73	
Kopfkohl	0,71	0,75	0,70	0,73
Kopfsalat	0,71	0,73	0,75	
Mais	0,80	0,71	0,75	
Möhren	0,75	0,75	0,73	
Petersilie	0,75	0,73	0,77	
Porree	0,71	0,73	0,75	0,78
Puffbohnen	0,71	0,73	0,75	0,78
Rettich	0,71	0,73	0,77	
Rosenkohl	0,71	0,73	0,75	0,78
Rote Beete	0,80	0,73	0,75	0,78
Sellerie	0,71	0,73	0,73	0,78
Spargel	0,71	0,73		
Tomate	0,71	0,73	0,75	
Zucchini	0,71	0,73	0,75	
Zuckerrübe	0,67	0,80	0,75	0,73
Zwiebel	0,71	0,77	0,75	
Mittelwert	0,74			

Anhang 14A: Hinterlegte Kennwerte zu den verfügbaren Feldkulturen im BeProBW-Prognosewerkzeug

id	defaultGrowT ime days	irri_limit	irri_refill	rel_time	kc	roots_m
Blumenkohl Standard	63	0,6	0,8	0,00	0,50	0,30
Blumenkohl Standard	63	0,6	0,8	0,22	0,80	0,30
Blumenkohl Standard	63	0,6	0,8	0,67	1,20	0,60
Blumenkohl Standard	63	0,6	0,8	1,00	1,20	0,60
Chinakohl Standard spaet gepflanzt	77	0,6	0,8	0,00	0,50	0,30
Chinakohl Standard spaet gepflanzt	77	0,6	0,8	0,22	0,80	0,30
Chinakohl Standard spaet gepflanzt	77	0,6	0,8	0,45	1,20	0,60
Chinakohl Standard spaet gepflanzt	77	0,6	0,8	1,00	1,20	0,60
Erdbeere Standard	180	0,6	0,8	0,00	0,30	0,30
Erdbeere Standard	180	0,6	0,8	0,50	0,63	0,30
Erdbeere Standard	180	0,6	0,8	0,83	0,63	0,30
Erdbeere Standard	180	0,6	0,8	1,00	0,56	0,30
Feldsalat Fruehsommer	50	0,6	0,8	0,00	0,40	0,15
Feldsalat Fruehsommer	50	0,6	0,8	1,00	0,40	0,15
Feldsalat Standard Herbst	65	0,6	0,8	0,00	0,40	0,15
Feldsalat Standard Herbst	65	0,6	0,8	1,00	0,40	0,15
Feldsalat Ueberwinterung	100	0,6	0,8	0,00	0,40	0,15
Feldsalat Ueberwinterung	100	0,6	0,8	1,00	0,40	0,15
Getreide Sommerweizen	130	0,6	0,8	0,00	0,40	0,30
Getreide Sommerweizen	130	0,6	0,8	0,23	0,40	0,50
Getreide Sommerweizen	130	0,6	0,8	0,46	0,85	1,00
Getreide Sommerweizen	130	0,6	0,8	0,77	0,85	1,00
Getreide Sommerweizen	130	0,6	0,8	1,00	0,19	1,00
Getreide Winterweizen	180	0,6	0,8	0,00	0,62	0,50
Getreide Winterweizen	180	0,6	0,8	0,58	0,85	1,50
Getreide Winterweizen	180	0,6	0,8	0,82	0,85	1,50
Getreide Winterweizen	180	0,6	0,8	1,00	0,19	1,50
Gurke Einlege	140	0,6	0,8	0,00	0,00	0,30
Gurke Einlege	140	0,6	0,8	0,10	0,50	0,30
Gurke Einlege	140	0,6	0,8	0,20	0,80	0,30
Gurke Einlege	140	0,6	0,8	0,43	1,10	0,30
Gurke Einlege	140	0,6	0,8	1,00	0,00	0,30
Kartoffel Spaetreife	150	0,6	0,8	0,00	0,10	0,30
Kartoffel Spaetreife	150	0,6	0,8	0,20	0,40	0,30
Kartoffel Spaetreife	150	0,6	0,8	0,55	0,60	0,60
Kartoffel Spaetreife	150	0,6	0,8	0,90	0,80	0,60
Kartoffel Spaetreife	150	0,6	0,8	1,00	0,00	0,60
Knollenfenchel Gepflanzt Sommer	70	0,6	0,8	0,00	0,50	0,30
Knollenfenchel Gepflanzt Sommer	70	0,6	0,8	0,43	1,00	0,30
Knollenfenchel Gepflanzt Sommer	70	0,6	0,8	0,86	1,40	0,60
Knollenfenchel Gepflanzt Sommer	70	0,6	0,8	1,00	1,40	0,60
Knollensellerie Knolle	133	0,6	0,8	0,00	0,50	0,30
Knollensellerie Knolle	133	0,6	0,8	0,21	0,80	0,30
Knollensellerie Knolle	133	0,6	0,8	0,42	1,10	0,30
Knollensellerie Knolle	133	0,6	0,8	0,68	1,40	0,60
Knollensellerie Knolle	133	0,6	0,8	1,00	1,40	0,60
Kopfsalat Frueh	45	0,6	0,8	0,00	0,50	0,30
Kopfsalat Frueh	45	0,6	0,8	0,67	0,80	0,30
Kopfsalat Frueh	45	0,6	0,8	0,84	1,20	0,30
Kopfsalat Frueh	45	0,6	0,8	1,00	1,20	0,30
Kopfsalat Standard	35	0,6	0,8	0,00	0,50	0,30
Kopfsalat Standard	35	0,6	0,8	0,86	0,80	0,30
Kopfsalat Standard	35	0,6	0,8	0,94	1,20	0,30
Kopfsalat Standard	35	0,6	0,8	1,00	1,20	0,30
Kuerbis Gesaet Sommer	120	0,6	0,8	0,00	0,00	0,30
Kuerbis Gesaet Sommer	120	0,6	0,8	0,17	0,70	0,30
Kuerbis Gesaet Sommer	120	0,6	0,8	0,83	0,56	0,60
Kuerbis Gesaet Sommer	120	0,6	0,8	1,00	0,22	0,60

Anhang 14B: Hinterlegte Kennwerte zu den verfügbaren Feldkulturen im BeProBW-Prognosewerkzeug

id	defaultGrowT ime days	irri_limit	irri_refill	rel_time	kc	roots_m
Lauch Standard	150	0,6	0,8	0,00	0,50	0,30
Lauch Standard	150	0,6	0,8	0,28	0,80	0,30
Lauch Standard	150	0,6	0,8	0,43	1,20	0,60
Lauch Standard	150	0,6	0,8	0,57	1,40	0,60
Lauch Standard	150	0,6	0,8	1,00	1,40	0,60
Mais Saatmais Koernermais	190	0,6	0,8	0,00	0,10	0,30
Mais Saatmais Koernermais	190	0,6	0,8	0,15	0,40	0,30
Mais Saatmais Koernermais	190	0,6	0,8	0,45	0,60	1,00
Mais Saatmais Koernermais	190	0,6	0,8	0,75	0,80	1,00
Mais Saatmais Koernermais	190	0,6	0,8	1,00	0,40	1,00
Mais Zuckermais	110	0,6	0,8	0,00	0,10	0,30
Mais Zuckermais	110	0,6	0,8	0,15	0,40	0,30
Mais Zuckermais	110	0,6	0,8	0,45	0,60	1,00
Mais Zuckermais	110	0,6	0,8	0,75	0,80	1,00
Mais Zuckermais	110	0,6	0,8	1,00	0,81	1,00
Moehre Standard Wasch	100	0,6	0,8	0,00	0,30	0,30
Moehre Standard Wasch	100	0,6	0,8	0,39	0,60	0,60
Moehre Standard Wasch	100	0,6	0,8	0,62	0,80	0,60
Moehre Standard Wasch	100	0,6	0,8	1,00	0,80	0,60
Raps Winter	190	0,6	0,8	0,00	0,44	0,60
Raps Winter	190	0,6	0,8	0,47	0,85	1,20
Raps Winter	190	0,6	0,8	0,79	0,85	1,20
Raps Winter	190	0,6	0,8	1,00	0,26	1,20
Rettich Standard	60	0,6	0,8	0,00	0,00	0,00
Rettich Standard	60	0,6	0,8	0,17	0,50	0,30
Rettich Standard	60	0,6	0,8	0,50	0,80	0,40
Rettich Standard	60	0,6	0,8	0,83	1,00	0,60
Rettich Standard	60	0,6	0,8	1,00	1,00	0,60
Spargel Ertrag	240	0,6	0,8	0,00	0,00	0,90
Spargel Ertrag	240	0,6	0,8	0,63	0,60	0,90
Spargel Ertrag	240	0,6	0,8	1,00	0,90	0,90
Spargel Ertrag	240	0,6	0,8	1,00	0,90	0,90
Spargel Neuanlage	240	0,6	0,8	0,00	0,00	0,60
Spargel Neuanlage	240	0,6	0,8	0,38	0,50	0,60
Spargel Neuanlage	240	0,6	0,8	1,00	0,90	0,90
Spargel Neuanlage	240	0,6	0,8	1,00	0,90	0,90
Weisskohl Standard Spaet	133	0,6	0,8	0,00	0,50	0,30
Weisskohl Standard Spaet	133	0,6	0,8	0,16	0,60	0,30
Weisskohl Standard Spaet	133	0,6	0,8	0,32	0,70	0,30
Weisskohl Standard Spaet	133	0,6	0,8	0,36	0,80	0,60
Weisskohl Standard Spaet	133	0,6	0,8	0,68	0,80	0,90
Weisskohl Standard Spaet	133	0,6	0,8	1,00	0,80	0,90
Zucchini Sommer	105	0,6	0,8	0,00	0,00	0,30
Zucchini Sommer	105	0,6	0,8	0,07	0,50	0,30
Zucchini Sommer	105	0,6	0,8	0,24	0,80	0,30
Zucchini Sommer	105	0,6	0,8	0,40	1,20	0,60
Zucchini Sommer	105	0,6	0,8	1,00	1,20	0,60
Zwiebel Sommer	147	0,6	0,8	0,00	0,00	0,30
Zwiebel Sommer	147	0,6	0,8	0,19	0,50	0,30
Zwiebel Sommer	147	0,6	0,8	0,33	1,00	0,30
Zwiebel Sommer	147	0,6	0,8	0,71	1,20	0,60
Zwiebel Sommer	147	0,6	0,8	1,00	0,00	0,60

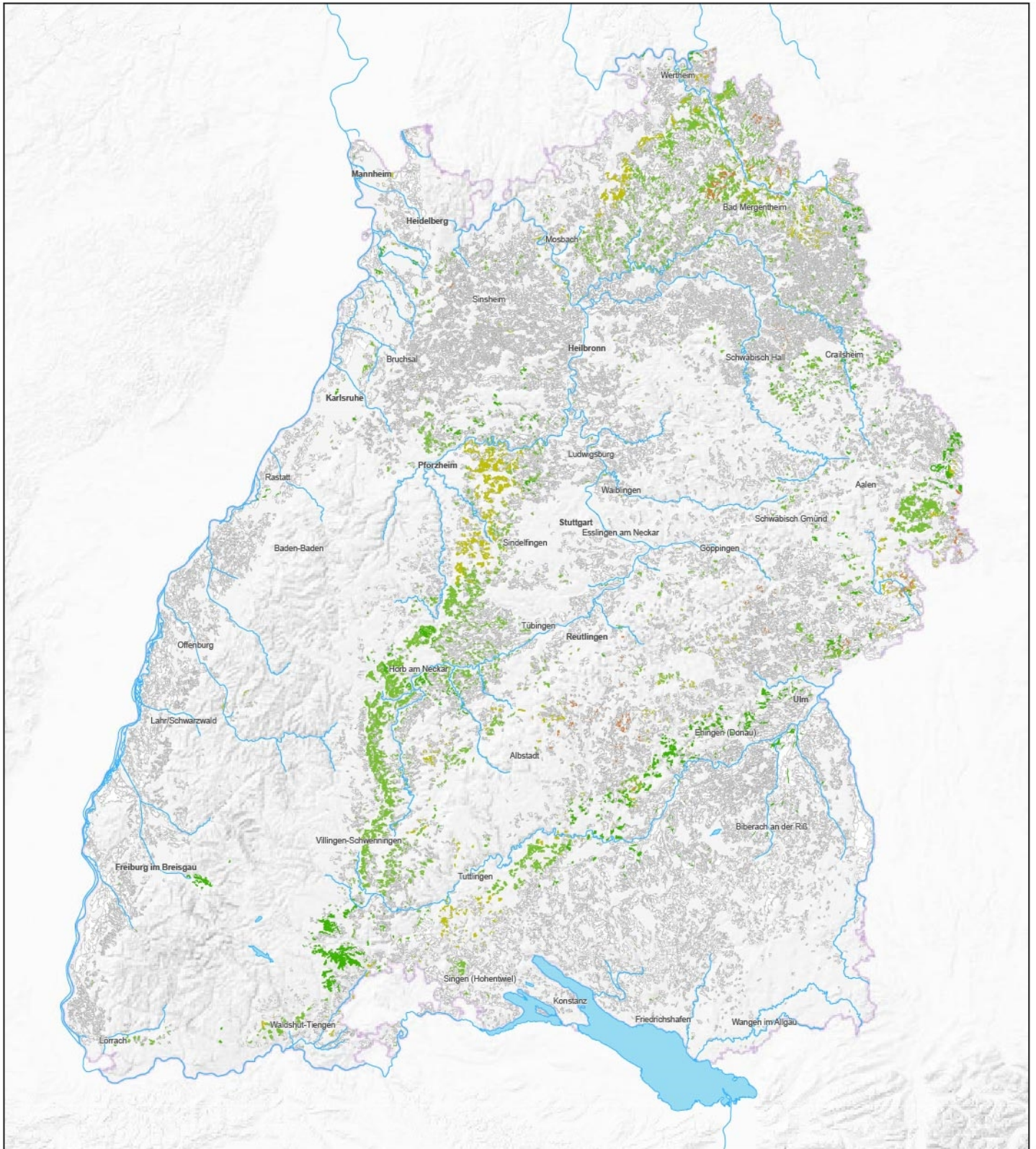
Anhang 15A: Programminterne Berechnungswerte zur täglichen Bodenwasserbilanzierung mit dem BeProBW-Prognoseinstrument am Beispiel von Kopfsalat beim Klimapunkt 85 auf der Bodeneinheit w83 in der Gegenwart

Tagesnr.	Regen [mm]	kc	WT	NFK_pot [mm]	NFK_act [mm]	NFK_Füll grad	Et0	ET_crop	Bere- nung [mm]
151	38,2	0,504	300	55	48,4	0,881	2,11	1,06	
152		0,514	300	55	47,4	0,861	2,11	1,08	
153		0,524	300	55	46,3	0,841	2,11	1,10	
154		0,534	300	55	45,1	0,820	2,11	1,13	
155		0,543	300	55	44,0	0,800	2,11	1,15	
156		0,553	300	55	42,8	0,778	2,11	1,17	
157		0,563	300	55	41,6	0,757	2,11	1,19	
158		0,573	300	55	40,4	0,735	2,11	1,21	
159		0,583	300	55	39,2	0,712	2,11	1,23	
160		0,593	300	55	37,9	0,690	2,11	1,25	
161		0,603	300	55	36,7	0,667	2,11	1,27	
162		0,613	300	55	35,4	0,643	2,11	1,29	
163		0,623	300	55	34,1	0,619	2,11	1,31	11,3
164		0,633	300	55	44,0	0,800	2,11	1,34	
165		0,643	300	55	42,6	0,775	2,11	1,36	
166		0,653	300	55	41,3	0,750	2,11	1,38	
167		0,663	300	55	39,9	0,725	2,11	1,40	
168		0,673	300	55	38,4	0,699	2,11	1,42	
169	38,2	0,683	300	55	37,0	0,673	2,11	1,44	
170		0,693	300	55	53,5	0,973	2,11	1,46	
171		0,703	300	55	52,1	0,946	2,11	1,48	
172		0,713	300	55	50,6	0,919	2,11	1,50	
173		0,723	300	55	49,0	0,891	2,11	1,52	
174		0,733	300	55	47,5	0,863	2,11	1,55	
175		0,743	300	55	45,9	0,835	2,11	1,57	
176		0,753	300	55	44,3	0,806	2,11	1,59	
177		0,763	300	55	42,7	0,777	2,11	1,61	
178		0,773	300	55	41,1	0,747	2,11	1,63	
179		0,783	300	55	39,4	0,717	2,11	1,65	
180		0,793	300	55	37,8	0,687	2,11	1,67	
181		0,838	300	55	35,8	0,652	2,30	1,92	
182		0,980	300	55	33,6	0,611	2,30	2,25	13,1
183		1,123	300	55	44,0	0,800	2,30	2,58	
184		1,200	300	55	41,2	0,750	2,30	2,75	
185		1,200	300	55	38,5	0,700	2,30	2,75	

Anhang 15B: Programminterne Berechnungswerte zur täglichen Bodenwasserbilanzierung mit dem BeProBW-Prognoseinstrument am Beispiel von Kopfsalat beim Klimapunkt 85 auf der Bodeneinheit w83 in der fernen Zukunft

Tagesnr.	Regen [mm]	kc	WT	NFK_pot [mm]	NFK_act [mm]	NFK_Füll grad	Et0	ET_crop	Bereg- nung [mm]
151		0,504	300	55	48,3	0,879	2,34	1,18	
152		0,514	300	55	47,1	0,857	2,34	1,20	
153		0,524	300	55	45,9	0,834	2,34	1,23	
154		0,534	300	55	44,6	0,812	2,34	1,25	
155		0,543	300	55	43,4	0,789	2,34	1,27	
156		0,553	300	55	42,1	0,765	2,34	1,30	
157		0,563	300	55	40,8	0,741	2,34	1,32	
158		0,573	300	55	39,4	0,717	2,34	1,34	
159		0,583	300	55	38,0	0,692	2,34	1,37	
160		0,593	300	55	36,7	0,666	2,34	1,39	
161		0,603	300	55	35,2	0,641	2,34	1,41	
162		0,613	300	55	33,8	0,615	2,34	1,44	11,7
163		0,623	300	55	44,0	0,800	2,34	1,46	
164		0,633	300	55	42,5	0,773	2,34	1,48	
165		0,643	300	55	41,0	0,746	2,34	1,51	
166	68,3	0,653	300	55	39,5	0,718	2,34	1,53	
167		0,663	300	55	53,4	0,972	2,34	1,55	
168		0,673	300	55	51,9	0,943	2,34	1,58	
169		0,683	300	55	50,3	0,914	2,34	1,60	
170		0,693	300	55	48,6	0,885	2,34	1,62	
171		0,703	300	55	47,0	0,855	2,34	1,65	
172		0,713	300	55	45,3	0,824	2,34	1,67	
173		0,723	300	55	43,6	0,793	2,34	1,69	
174		0,733	300	55	41,9	0,762	2,34	1,72	
175		0,743	300	55	40,2	0,731	2,34	1,74	
176		0,753	300	55	38,4	0,699	2,34	1,76	
177		0,763	300	55	36,6	0,666	2,34	1,79	
178		0,773	300	55	34,8	0,633	2,34	1,81	11,1
179		0,783	300	55	44,0	0,800	2,34	1,83	
180		0,793	300	55	42,1	0,766	2,34	1,86	
181		0,837	300	55	40,0	0,727	2,56	2,15	
182		0,980	300	55	37,5	0,682	2,56	2,51	
183		1,123	300	55	34,6	0,629	2,56	2,88	12,6
184		1,200	300	55	44,0	0,800	2,56	3,07	
185		1,200	300	55	40,9	0,744	2,56	3,07	

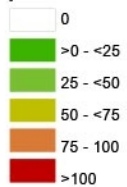
Anhang 16: Auf den vier Folgeseiten - Karten zur Entwicklung des landesweiten Bewässerungsbedarfs auf Ackerflächen am Beispiel von Mais und Weißkohl, unabhängig von den Pflanzenansprüchen an die Standorteigenschaften - Aufgrund der Kartenverkleinerung sind die weißen Flächen ohne Bewässerungsbedarf graufarbig, die Auf DIN-A4 verkleinerten Karten sind nur im pdf-Dokument auf den Folgeseiten verfügbar, die Originalgröße der Karten ist DIN-A1 und nur auf CD beim gedruckten Abschlussbericht verfügbar.



Mais Gegenwart

Legende

jährlicher Bewässerungsbedarf in Litern / m²



Ein Projekt im Programm KLIMOPASS des Landes Baden-Württemberg:

Bewässerungsprognose Baden-Württemberg (BeProBW)

Ein interaktives Beratungs- und Planungswerkzeug zur Visualisierung und Bilanzierung des landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarfs im Klimawandel

Auftraggeber:



Ansprechpartner:
Daniel Schulz-Engler
klimopass@lubbw.bwl.de

Konzept und Kartografie:

N. Billen, K. Spohrer, H. Sauer
D. Böhme, B. Huber

Ansprechpartner:

A. Assmann, aassm@geomer.de
N. Billen, n.billen@terra-fusca.de

geomer

terrafusca

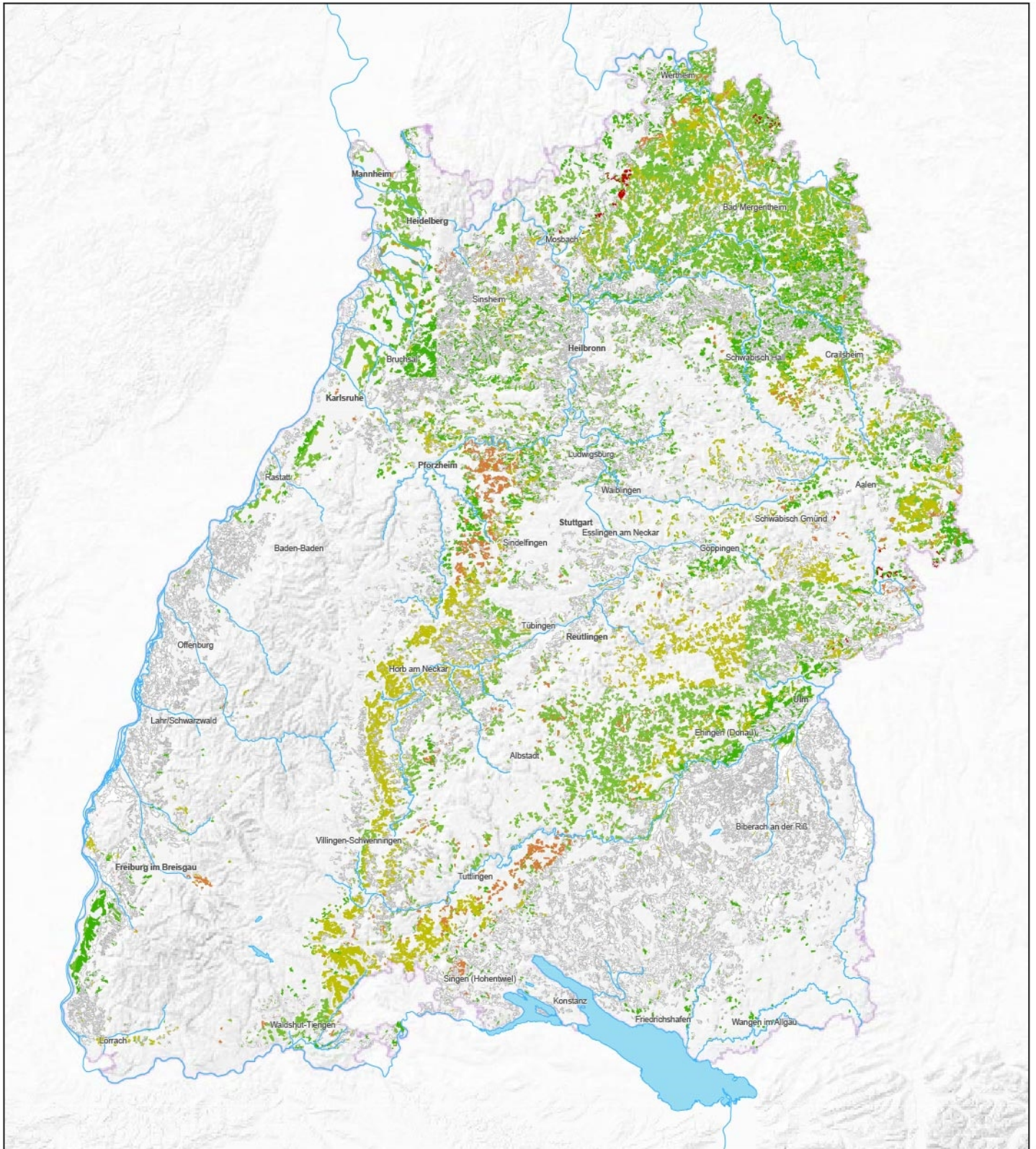
DIALOGIK

LVG Heidelberg

Datenquellen:

© BK50 (Stand 01/2017); Regierungspräsidium Freiburg
Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB)
http://www.lgrb-bw.de
Az: 4786/17_871
© GeoBasis-DE / BKG 2017

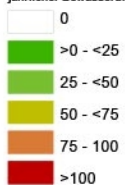
0 10 20 30 40 Kilometer
Kartenprojektion: UTM32 ETRS89



Mais in der fernen Zukunft (2070 - 2100)

Legende

jährlicher Bewässerungsbedarf in Litern / m²



Ein Projekt im Programm KLIMOPASS
des Landes Baden-Württemberg:

Bewässerungsprognose Baden-Württemberg (BeProBW)

Ein interaktives Beratungs- und Planungswerkzeug
zur Visualisierung und Bilanzierung des landwirtschaftlichen
Bewässerungsbedarfs im Klimawandel

Auftraggeber:



Ansprechpartner:
Daniel Schulz-Engler
klimopass@lubbw.bwl.de

Konzept und Kartografie:

N. Billen, K. Spohrer, H. Sauer
D. Böhme, B. Huber

Ansprechpartner:

A. Assmann, aassm@geomer.de
N. Billen, n.billen@terra-fusca.de

geomer

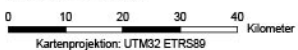
terrafusca

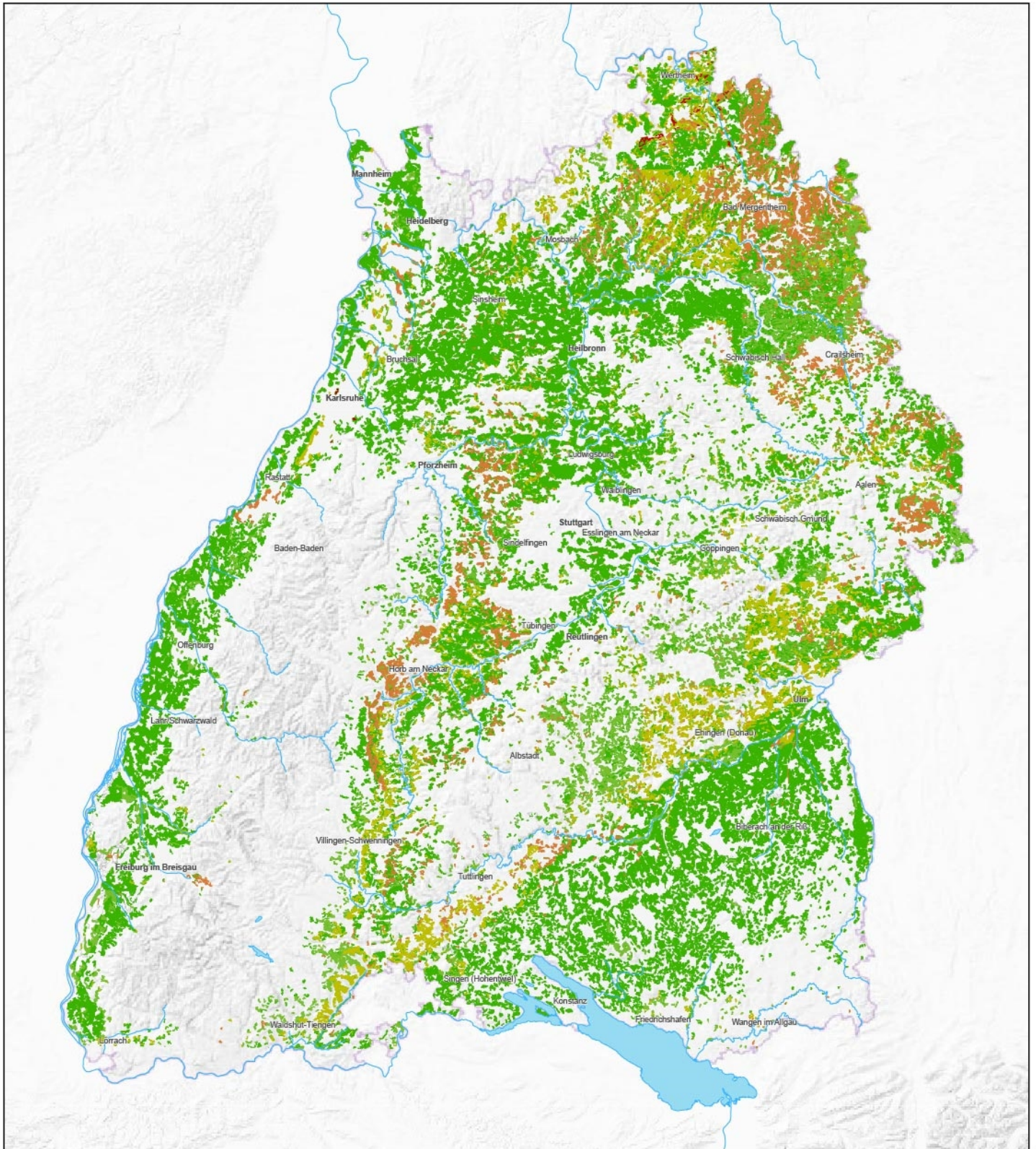
DIALOGIK

LVG Heidelberg

Datenquellen:

© BKG (Stand 01/2017); Regierungspräsidium Freiburg
Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB)
http://www.lgrb-bw.de
Az: 4786/17_871
© GeoBasis-DE / BKG 2017

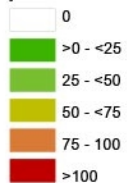




Weisskohl Gegenwart

Legende

jährlicher Bewässerungsbedarf in Litern / m²



Ein Projekt im Programm KLIMOPASS des Landes Baden-Württemberg:

Bewässerungsprognose Baden-Württemberg (BeProBW)

Ein interaktives Beratungs- und Planungswerkzeug zur Visualisierung und Bilanzierung des landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarfs im Klimawandel

Auftraggeber:



Ansprechpartner:
Daniel Schulz-Engler
klimopass@lwbw.bwl.de

Konzept und Kartografie:

N. Billen, K. Spohrer, H. Sauer
D. Böhme, B. Huber

Ansprechpartner:

A. Assmann, aassm@geomer.de
N. Billen, n.billen@terra-fusca.de

geomer

terrafusca

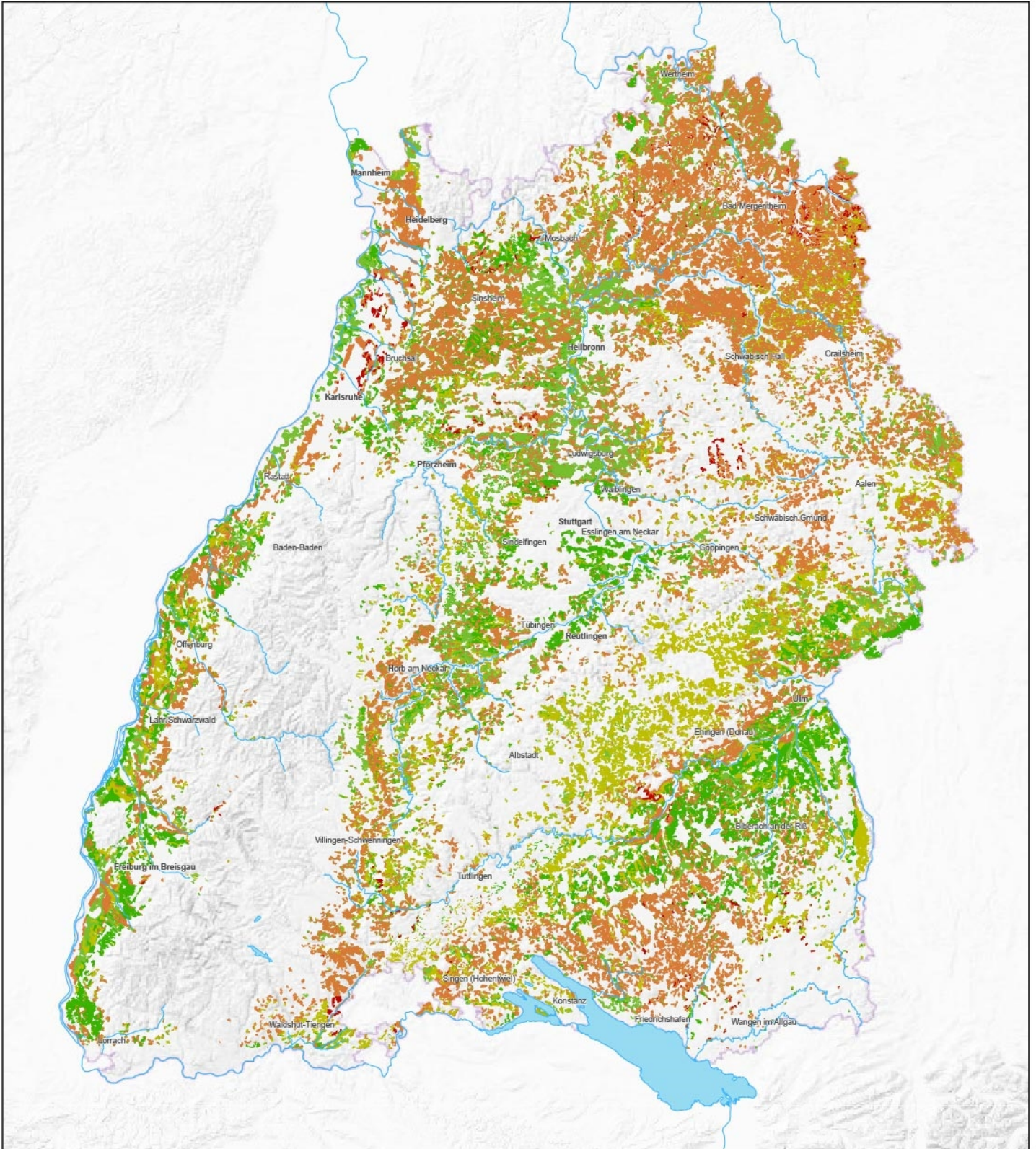
DIALOGIK

LVG Heidelberg

Datenquellen:

© BK50 (Stand 01/2017); Regierungspräsidium Freiburg
Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB)
<http://www.lgrb-bw.de>
Az: 4786/17_871
© GeoBasis-DE / BKG 2017

0 10 20 30 40 Kilometer
Kartenprojektion: UTM32 ETRS89



Weisskohl in der fernen Zukunft (2070 - 2100)

Legende

jährlicher Bewässerungsbedarf in Litern / m²



Ein Projekt im Programm KLIMOPASS
des Landes Baden-Württemberg:

Bewässerungsprognose Baden-Württemberg (BeProBW)

Ein interaktives Beratungs- und Planungswerkzeug
zur Visualisierung und Bilanzierung des landwirtschaftlichen
Bewässerungsbedarfs im Klimawandel

Auftraggeber:



Ansprechpartner:
Daniel Schulz-Engler
klimopass@lwbw.bwl.de

Konzept und Kartografie:

N. Billen, K. Spohrer, H. Sauer
D. Böhme, B. Huber

Ansprechpartner:

A. Assmann, aassm@geomer.de
N. Billen, n.billen@terra-fusca.de

geomer

terrafusca

DIALOGIK

LVG Heidelberg

Datenquellen:

© BK50 (Stand 01/2017); Regierungspräsidium Freiburg
Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB)
<http://www.lgrb-bw.de>
Az: 4786/17_871
© GeoBasis-DE / BKG 2017

0 10 20 30 40
Kilometer
Kartenprojektion: UTM32 ETRS89

