Anpassungsstrategie Baden-Württemberg an die Folgen des Klimawandels

Fachgutachten für das Handlungsfeld Landwirtschaft

- Teil B: Wissenschaftlicher Hintergrund –

im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg

Autor: Dr. Holger Flaig,
Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), Karlsruhe

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg

Stand: Mai 2013

Vorliegendes Gutachten dient der Erstellung einer Anpassungsstrategie an die Folgen des Klimawandels für das Land Baden-Württemberg. Verantwortlich für den Inhalt sind die Autoren. Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur mit Genehmigung des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren erlaubt.

EMAS
GEPRÜFTES UMWELTMANAGEMENT
D-138-00063

Auftraggeber: © Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Stuttgart

Fachliche Begleitung: LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe
Ref. 23 – Medienübergreifende Umweltbeobachtung, Klimawandel
Dr. Kai-Achim Höpker
Dagmar Berberich
Daniel Schulz-Engler

Ressortarbeitskreis Landwirtschaft unter Leitung von
Frau Dr. Jana Kleen, Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz (MLR), Ref. 23
und Mitwirkung von

Anja Beuter, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, Ref. 22
Christian Bühler, MLR, Referat 24
Stefanie Groh, LUBW Karlsruhe
Dr. Jana Kleen, MLR, Referat 23 (RAK-Leiterin ab Juli 2012)
Dr. Helga Pfleiderer, MLR, Referat 23 (RAK-Leiterin bis Juni 2012)
Ursula Roth, MLR, Referat 26
Gregor Stephani, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, Ref. 22

Auftragnehmer

ltz Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg

Bearbeitet von Dr. Holger Flaig, LTZ

Stand: Mai 2013

Vorliegendes Gutachten dient der Erstellung einer Anpassungsstrategie an die Folgen des Klimawandels für das Land Baden-Württemberg. Verantwortlich für den Inhalt sind die Autoren. Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur mit Genehmigung des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren erlaubt.

Inhaltsverzeichnis

1 Anpassungswissen 5

1.1 Höhere CO2-Konzentrationen 7

1.2 Fruchtartenwahl und Fruchtfolgegestaltung 7

1.3 Sortenstrategie und Bestandesführung 8

1.4 Bodenbearbeitung 9

1.5 Düngung 10

1.6 Bewässerung und Wassermanagement 11

1.7 Pflanzenschutz 11

1.8 Erfahrungen aus dem Jahr 2003 12

2 Ökonomische Aspekte 12

3 Kenntnisdefizite und Forschungsbedarf 14

4 Standörtliche Charakterisierung der Vergleichsgebiete 17

5 Alternativen zur Bewertung der Vulnerabilität gegenüber Trockenheit 22

6 Aufteilung der Vulnerabilitätsbewertung Bodenerosion 26

7 Vergleich der Gebietsabgrenzungen zur Regionalisierung der Vulnerabilitätsbewertung 27

8 Beispiele für zusätzlich erstellte Karten 28

1 Anpassungswissen

Definition Anpassungswissen:

aus Glossar (LUBW-Unterlagen)

„Umfasst die Aspekte Wissen über potenzielle Auswirkungen des Klimawandels, Wissen über die Notwendigkeit der Klimaanpassung, Wissen über mögliche Anpassungsmaßnahmen und -strategien sowie – wenn Informationen vorhanden sind – Erfahrungen mit vergangenen Ereignissen, die die Gefährdungslage der Region gegenüber extremen Wetter- oder Klimazuständen deutlich haben werden lassen (Schuchardt 2011).“

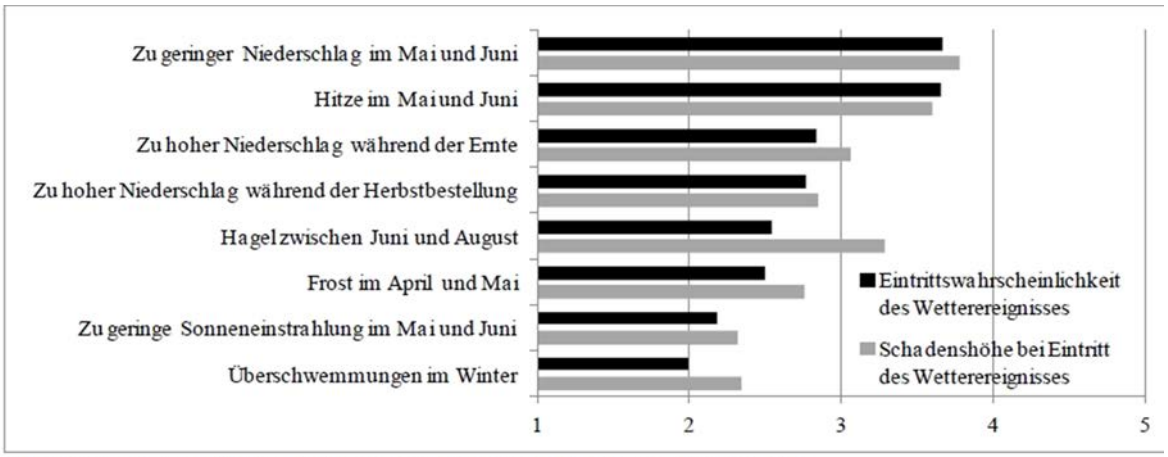
Das Wissen über die potenziellen Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft in Baden-Württemberg ist im Grundsatz bei den relevanten Akteuren (Pflanzen- und Tierzüchter, Forschungsinstitutionen, Landwirtschaftsverwaltung, Landesanstalten, Berater und Landwirte) vorhanden. Natürlich gibt es im Detail noch viele Lücken. Einige davon sind im Kapitel „Kenntnisdefizite und Forschungsbedarf“ (Kap. 3) dargestellt. Da gemäß den regionalen Klimaprojektionen die klimatischen Änderungen und damit der Anpassungsbedarf zumindest bis 2050 noch moderat sind, sollte die Landwirtschaft bis zur Mitte des Jahrhunderts weitgehend mit bereits bekannten Anpassungsmaßnahmen zurechtkommen. Ob diese ausreichen werden, um die Auswirkungen eines p85-Szenarios (Hitze) oder p15-Szenarios (Trockenheit) oder noch extremerer Szenarien gegen Ende des Jahrhunderts abzufedern, ist derzeit nicht abschätzbar.

Interessant wäre eine Erhebung zum Durchdringungsgrad des „Klimawandel-Wissens“ bei den Hauptakteuren im Handlungsfeld Landwirtschaft, den Landwirten. Die folgenden Ausführungen des Gutachters beruhen auf den eigenen subjektiven Erfahrungen mit Landwirten auf einer Vielzahl von Informationsveranstaltungen. Die Aussagen sind demgemäß nicht wissenschaftlich abgesichert. Zu solchen Veranstaltungen kommen in der Regel Personen, die sich für das Thema „Klimawandel“ interessieren, insofern besteht ein gewisser „bias“.

Insgesamt ist das Wissen über die potenziellen Auswirkungen des Klimawandels bei den Landwirten schon sehr präsent. Die Landwirte wissen, dass ihr Erfolg von Jahr zu Jahr entscheidend auch von der Witterung abhängt, und der Einfluss des Klimas und einer Klimaveränderung auf den langfristigen Betriebserfolg muss Ihnen nicht erläutert werden. Entsprechend groß ist das Interesse an diesen Fragen. Im Vordergrund stehen die Auswirkungen künftiger Trockenheit, einer allgemeinen Temperaturerhöhung und von Extremereignissen (Dürreperioden, Hagel, Starkregen, Hitze). Relativ wenig bekannt ist das enorme potentielle Ausmaß von Temperaturerhöhung und Hitzeperioden in ferner Zukunft. Auch die permanente Erhöhung der CO_2-Konzentration in der Atmosphäre selbst und ihre Folgen auf Ertrag und vor allem Qualität ist für die Landwirte oft Neuland. Umgekehrt wird durch ihre Fragen auch klar, wo noch Wissenslücken in der Wissenschaft bestehen. Eine solche

Frage, die auch die vorliegenden Klimaprojektionen nicht beantworten können, ist, ob die in den letzten Jahren verstärkt beobachtete Frühjahrs-/Frühsommertrockenheit eine Folge des Klimawandels sein könnte und ob diese Ereignisse in Zukunft zunehmen werden. Die Frage ist für Wachstum und Ertrag vieler Kulturarten oft entscheidender als Hitze und Trockenheit im August − z.B. für den Erfolg des Rapsanbaus, der Sommergerste, aber auch des Winterweizens. Die Klimamodelle sind wohl noch nicht soweit, um diese Frage zu klären, zumal bereits die Modellierung des Niederschlags an sich nicht einfach ist, wie die erhebliche Streubreite der Modellergebnisse zeigt.

Die folgende Abbildung zeigt, dass dieses Problem nicht nur den Landwirten im Südwesten Kopfzerbrechen macht. Sie zeigt die Einschätzung von knapp 100 befragten Landwirten in Deutschland zu Wetterereignissen als betriebliche Risikoquelle:



* Ergebnisse einer schriftlichen Befragung von 96 deutschen Landwirten im Jahr 2011; Likert-Skala: 1 = sehr gering bis 5 = sehr hoch

Quelle: Risikomanagement für Extremwetterereignisse aus Sicht landwirtschaftlicher Betriebe. Vortrag O. Mußhoff auf DAF-Jahrestagung 2012 am 7. und 8. November 2012 in Braunschweig

Ob die im Prinzip bekannten Anpassungsmaßnahmen auf einzelnen Betrieben durchgeführt werden oder nicht, ist auch eine Frage des kurzfristig oder mittelfristig zu erwartenden ökonomischen Vorteils. Bei teuren Anpassungsmaßnahmen mit längerer Vorlaufzeit und Vorsorgecharakter, wie z.B. der Infrastruktur und Organisation von Bewässerungsmaßnahmen, Schutzvorrichtungen gegen Hagel und Starkregen oder Stallneubauten, wären intensive Beratung, überbetriebliche Organisation (z.B. Beregnungsverbände), versicherungsrechtliche Lösungen oder Investitionshilfen nützlich, um die Umsetzung zu erleichtern.

Die folgenden Kapitel bieten eine exemplarische Betrachtung der einzelnen Anpassungsmaßnahmen-Komplexe gemäß der Kapiteleinteilung im Fachgutachten, Teil A (Kap. 5.1) mit Konzentration auf den Ackerbau.

1.1 Höhere CO2-Konzentrationen

Mittlerweile gibt es einige FACE-Versuchsreihen, aus denen das höhere Ertragsniveau einiger Kulturarten zumindest zwischen 500 und 600 ppm CO_2 einigermaßen abgeschätzt werden kann. Es hat sich auch gezeigt, dass Qualitätsprobleme bei Getreide auftreten können (Rohproteingehalt, Aminosäuren, manche Nährstoffe). Es bestehen allerdings noch erhebliche Wissenslücken. Näheres im Kapitel „Kenntnisdefizite und Forschungsbedarf“ (Kap. 3.1).

1.2 Fruchtartenwahl und Fruchtfolgegestaltung

Zu den Gewinnern des Klimawandels werden vermutlich Mais, Soja und Hirsearten gehören. Mit dem Anbau von Mais bestehen in der Landwirtschaft umfangreiche Erfahrungen. Die Ausweitung des Sojaanbaus zeigt, dass bei dieser Kultur die Landwirte in entsprechend begünstigten Regionen bereits heute Chancen sehen und nutzen. Hier werden in den nächsten Jahren sicherlich weitere Anbauerfahrungen gewonnen werden – auch dank der langjährigen Arbeiten des LTZ, des Deutschen Sojaförderrings und künftig der „Deutschen Eiweißstrategie“. Die Hirsearten werden am LTZ Augustenberg im Versuchsanbau intensiv geprüft und beginnen, allmählich in die Praxis Einzug zu halten. Durumweizen und Sonnenblumen haben noch nicht in größerem Umfang Flächenanteile gewinnen können, nicht zuletzt, weil ihre Ertragssicherheit (noch) zu wünschen übrig lässt. Ob sich die Attraktivität dieser beiden Kulturen durch Klimawandel und Züchtungsfortschritt verbessern wird, werden die nächsten Jahre und Jahrzehnte zeigen. Wissen um ihren Anbau ist im Prinzip vorhanden und müsste im Bedarfsfall durch Beratung in die Breite getragen werden.

Auch wenn die genannten Kulturen mit einer nicht allzu extremen Temperaturerhöhung gut zurechtkommen sollten, hängen gute Erträge von einer ausreichenden Wasserversorgung ab. Dies gilt insbesondere für Soja, aber auch für Mais. Durumweizen hingegen hat gerne warme und trockene Sommer, wenn andere Kulturen nach Niederschlägen verlangen würden. Generell von Vorteil für die pflanzenbauliche Produktion sind gute tiefgründige Böden mit hoher Wasserspeicherfähigkeit, nicht zuletzt weil die Niederschlagsprojektionen relativ unsicher sind.

Die Frage der Wasserversorgung ist auch ein entscheidender Punkt, wenn es darum geht, ob und in welchem Umfang Zwischenfrüchte angebaut werden. Sie wären vor allem in engen Fruchtfolgen einerseits dringend notwendig, um das Erosionsrisiko zu begrenzen, Pflanzennährstoffe über den Winter zu konservieren und die Humusbilanz zu verbessern. Andererseits hängen Etablierung und Wachstum der Zwischenfrüchte von einer ausreichenden Wasserversorgung ab. Tiefwurzelnde Kulturen sind hier von Vorteil. Zwischenfruchtanbau ist eine gängige Bewirtschaftungsmaßnahme, allerdings gibt es hinsichtlich der Möglichkeiten in wärmerem und trockenerem Klima noch Forschungsbedarf im angewandten Bereich (z.B. geeignete Arten, Optimierung von Gemengen, Anpassung an verschiedene Standortbedingungen). Dies gilt auch

generell für die Integration von Leguminosen in die Fruchtfolge, vor allem in viehlosen Betrieben.

Um die Risiken des Klimawandels abzupuffern, wird häufig eine Risikostreuung empfohlen, indem statt einiger weniger Arten und aktueller Hochertragssorten mehrere Kulturarten und mehrere Sorten angebaut werden. Für den einzelnen Betrieb ist diese Strategie derzeit selten ökonomisch und wird daher von vielen Landwirten kritisch gesehen. Dies kann sich jedoch mit fortschreitendem Klimawandel und ggf. zunehmenden Extremereignissen auch ökonomisch anders darstellen.

1.3 Sortenstrategie und Bestandesführung

Über den Stand der Pflanzenzüchtung lässt sich wenig sagen, weil die Züchtung weitgehend privatwirtschaftlich organisiert ist. Die wenigen Meldungen deuten darauf hin, dass die Züchtung von Getreidesorten auf frühe Abreife hin einen Schwerpunkt darstellt. Weiterhin werden Trockenheitsresistenz und Virusresistenz der Gerste als Zuchtziele genannt. Da die Pflanzenzüchtungsfirmen international aufgestellt sind und weltweit betrachtet schon heute viel Züchtungsarbeit in Sorten für warme und trockene Klimate investiert wird, sollte die Verfügbarkeit geeigneter Sorten gesichert sein.

Rückmeldungen der Berater und Landwirte weisen darauf hin, dass gerade in der Oberrheinebene bereits heute verstärkt früh abreifende Getreidesorten angebaut werden. Oft wird sogar auf besonders frühe, französische Sorten zurückgegriffen. Das mag einen Hinweis darauf geben, wohin der Trend in künftigeren wärmeren und wahrscheinlich auch trockeneren Zeiten geht. Auch die Sortenversuche des LTZ Augustenberg zeigen, dass frühe Sorten in der Rheinebene gute Erträge bringen können.

Wenn eine ausreichende Palette an Sorten für die einzelnen Kulturarten zur Verfügung steht, wird sich im Zusammenwirken mit den Sortenversuchen des Landes und Praxisexperimenten von Landwirten schnell herausstellen, welche Sorten sich in welcher Region des Landes über mehrere Jahre als vorteilhaft erweisen. Problematisch ist die vermutlich zunehmende Variabilität der Witterung von Jahr zu Jahr, weil Erfahrungswerte dann weniger verlässlich sind.

Die Verlegung von Saatzeitpunkten ist nicht ohne Konfliktstoff. Wenn die Saatzeit der Sommerungen vorverlegt wird, besteht die Gefahr von Spätfrösten, auch wenn in der Mehrzahl der Jahre mildere Winter vorherrschen mögen und der Zeitpunkt des letzten Frostes sich im Allgemeinen zu früheren Zeitpunkten hin verschiebt. Kalte Winter und relativ späte Frosteinbrüche sind auch in künftigen Jahrzehnten noch möglich.

Die spätere Saat von Winterungen wird derzeit noch nicht empfohlen, weil eine frühere Saat in der Regel (noch) Ertragsvorteile bringt. Die Bestände gehen mit einem Entwicklungsvorsprung in den Winter und ins Frühjahr und können die Winterfeuchte in der neuen Vegetationsperiode

besser ausnutzen. Probleme mit zu üppigem Wachstum und vor allem mit Krankheiten und Schädlingen gibt es in manchen Jahren auch, sie sind allerdings bisher nicht so gravierend, dass eine spätere Saat generell empfohlen würde. Dies kann sich mit zunehmend milderen Wintern und geringeren Minusgraden bzw. kürzeren Frostperioden in Zukunft deutlich ändern.

1.4 Bodenbearbeitung

Laut Erhebungen des Statistischen Landesamtes werden in Baden-Württemberg bereits etwa 40% der Ackerfläche konservierend bearbeitet, allerdings derzeit noch mit der Möglichkeit der agrarpolitischen Förderung durch das MEKA-Programm. In einigen erosionsgefährdeten Gebieten wie dem Kraichgau ist der Anteil deutlich höher. Kenntnisse über Mulchsaat sind also bei vielen Landwirten vorhanden. Direktsaat hingegen ist über ein Nischenstadium noch nicht hinausgekommen. Nur rund 3 % der Betriebe setzen dieses bodenschonende Verfahren auf rund 1 % des Ackerlands ein (Hartmann 2011). Langjährige Versuche zeigen, dass das gesamte Anbausystem (Pflanzenschutz, Düngung, Zwischenfruchtanbau, ggf. Fruchtfolgen) umgestellt und an das Bodenbearbeitungssystem angepasst werden muss. Auch Pflanzenschutz und Düngung müssen sich gegenüber einer Pfluganwendung ändern. Direktsaat erfordert spezielle Geräte, mit denen erst Erfahrung gesammelt werden muss. In der Umstellungsphase muss der Landwirt mit Mindererträgen rechnen. Die Versuche zeigen jedoch, dass nach einigen Jahren Umstellungsfrist die Erträge nicht geringer sind als bei Mulchsaat und Pflugeinsatz und in Trockenjahren sogar höher liegen können. Insofern könnte das Verfahren mit zunehmendem Klimawandel an Bedeutung gewinnen, zumal der Arbeitsaufwand verringert wird. Hier wäre die Beratung vermutlich stark gefragt.

Der Einsatzumfang der anderen in Kap. 5.1.4 (Teil A) genannten möglichen Anpassungsmaßnahmen der Bodenbearbeitung und des Erosionsschutzes hängt davon ab, wie sie zum jeweiligen Standort und zum Betrieb passen – und nicht zuletzt davon, inwiefern sie sich betriebswirtschaftlich rechnen. Da Bodenerosion außer bei sichtbar gravierenden Ereignissen ein schleichender Prozess ist, fällt die Notwendigkeit des Bodenschutzes nicht immer unmittelbar auf. Inwiefern sich welches Maßnahmenbündel wo in welchem Betrieb lohnt, wäre eine Frage der angewandten Forschung, der Beratung, aber auch der agrarpolitischen Förderung. Falls Starkregenereignisse in Zukunft zunehmen, werden die Maßnahmen sukzessive an Bedeutung und auch an Wirtschaftlichkeit und damit Akzeptanz gewinnen.

Die Abbildung weiter oben illustriert, dass zu viele Niederschläge im Spätsommer und Herbst zur Erntezeit (mancher Kulturen) und Herbstbestellung für die Landwirtschaft ein großes Problem darstellen. Im hydrologischen Winterhalbjahr sollen die Niederschläge künftig zunehmen. Anpassungsmaßnahmen sind allerdings rar. Es bleibt nur, in einem passenden Zeitfenster zu versuchen, Ertrag und vor allem Qualität der Ernte zu retten bzw. Befahrung und Bodenbearbeitung zeitlich so zu planen, dass eine Schädigung des Bodens durch Verdichtung

möglichst vermieden wird. Daher ist es sicher lohnend, weiter Ausbildungs- und Beratungskapazitäten in den Bereich bodenschonende Bewirtschaftungsmaßnahmen zu investieren, um das erforderliche Fachwissen auf Betriebsebene für die Landwirtschaft noch besser verfügbar zu machen.

1.5 Düngung

Im Versuchswesen gibt es einige Erfahrungen mit platzierter Düngung als Band- oder Unterfußdüngung. Inwiefern sich diese Düngungsmethode in der Praxis durchgesetzt hat, ist dem Autor nicht bekannt. Ebenso wie stabilisierte Dünger sind die Methoden den Landwirten jedenfalls prinzipiell bekannt und insofern zügig einsetzbar. Injektionsverfahren werden vor allem bei organischen Düngern auf Grünland eingesetzt, für die mineralische Düngung, z.B. im CULTAN-Verfahren, sind sie noch nicht verbreitet. Allerdings wächst der Bekanntheitsgrad, nicht zuletzt durch gute Ergebnisse im Versuchswesen.

Die bisher auch von der Beratung empfohlene Aufteilung der Stickstoffdüngung in mehrere Gaben wird im Zuge des Klimawandels hinterfragt werden müssen. Welches Düngungsverfahren für welche Kultur an welchem Standort und in welcher Höhe (CO_2-bedingte Ertragssteigerung!) empfehlenswert ist, wird in den nächsten Jahrzehnten noch häufiger getestet und ggf. angepasst werden müssen. Neben dem Aspekt der Aufnahme des Düngers aus dem Boden angesichts trockener werdender Vegetationsperioden wird man zunächst in Versuchen auch der Stickstoffform verstärkt Aufmerksamkeit zuwenden müssen. Es gibt Hinweise darauf, dass bei höheren CO_2-Konzentrationen die Aufnahme und Verarbeitung von Nitrat schlechter funktioniert.

Mit der emissionsarmen Lagerung und Ausbringung organischer Dünger gibt es umfangreiche Erfahrungen in Versuchswesen und Praxis (z.B. Schleppschlauchverfahren), auch wenn der Anwendungsumfang noch steigerungsfähig ist. Doch auch die Anwendung organischer Dünger wird Veränderungen erfahren. So muss die Ausbringungsmenge und –zeit auf die mögliche Mineralisationsintensität Rücksicht nehmen (höher zwischen Herbst und Frühjahr, geringer im Sommer). Auch hier kann es sein, dass sich Injektionslösungen nicht nur aus Gründen der Emissionsreduktion, sondern auch der Düngewirkung als vorteilhaft erweisen. Gleichzeitig muss die Kombination von Mineraldüngern mit organischen Düngern verbessert werden, um die Humusreproduktion unserer Ackerböden zu gewährleisten. Umfangreiche Erfahrungen liegen vor, die aber vor allem bei zunehmender Trockenheit neu bewertet werden müssen. Als eine sehr wesentliche Komponente der Bodenfruchtbarkeit sollte insgesamt die Entwicklung der Humusgehalte der Ackerböden im Zusammenspiel von klimatischen Veränderungen und Anpassungsverhalten der landwirtschaftlichen Unternehmen sorgfältig beobachtet werden.

1.6 Bewässerung und Wassermanagement

Die in Kap. 5.1.6 (Teil A) aufgeführten Maßnahmen wurden z.T. bereits in Kapiteln von Teil B besprochen. In den nächsten Jahren bleibt ausreichend Zeit, zunächst in Versuchen und dann über die Beratung in der Praxis begonnene Anpassungsmaßnahmen neu auszutarieren und zu verfeinern. Sicherlich ist gerade bei der Kombination wassereffizienter pflanzenbaulicher Verfahren ein Blick über den Tellerrand zu den Erfahrungen in südlicheren Ländern Europas hilfreich. Hier wird bereits heute unter klimatischen Bedingungen Landwirtschaft betrieben, wie sie bei uns in einigen Jahrzehnten herrschen werden. Eine offene Frage ist noch, inwieweit die durch die Erhöhung der CO_2-Konzentration der Luft bedingte Einsparung beim Wasserverbrauch der Kulturpflanzen Auswirkungen auf die notwendige Wasserversorgung der Kulturen in einigen Jahrzehnten haben wird. Hier sind noch weitere Versuche notwendig (auch wenn man die künftigen Sorten und ihre Wassereffizienz noch nicht kennt).

Von Erfahrungen profitieren kann man auch bei Maßnahmen der Beregnung/Bewässerung. Dennoch wird es noch notwendig sein, für verschiedene Kulturen möglichst effiziente Bewässerungsverfahren weiterzuentwickeln und zu erproben, die auch wirtschaftlich sind. Diese Lösungen werden für Sonderkulturen und Ackerbaukulturen wie Saatmais oder Kartoffeln anders aussehen. Eventuell wird man nicht nur technisch, sondern mancherorts auch organisatorisch neue Wege gehen müssen und die Bewässerung für mehrere Betriebe gemeinschaftlich organisieren. Beregnungsverbände gibt es zwar schon, sie spielen jedoch in Baden-Württemberg im Vergleich zu Rheinland-Pfalz beispielsweise noch eine geringe Rolle. Mit zunehmender Verlässlichkeit und regionaler Genauigkeit der Klimaprojektionen wird es vorteilhaft sein, den Bedarf an landwirtschaftlich genutztem Wasser aus Grund- und Oberflächenwasser genauer abzuschätzen und Prognosen zu erstellen, um sich mit anderen Wassernutzern für Extremjahre abzustimmen.

1.7 Pflanzenschutz

Schutzsysteme gegen hohe Einstrahlung, Hagel und Starkregen sind auf dem Markt und werden weiter verbessert. Sie werden trotz hoher Kosten dann eingesetzt, wenn sie sich nach Einschätzung des Betriebsleiters wirtschaftlich lohnen, und dies könnte öfter der Fall sein, wenn Extremereignisse in Zukunft zunehmen. Ähnliches gilt für die Frostschutzberegnung. Ob sie künftig seltener notwendig wird, ist angesichts früherer Blühtermine nicht sicher. Hinsichtlich Technik und Organisation der Wasserversorgung wären Verbesserungspotentiale auszuloten. Generell sind solche Maßnahmen jedoch auf wertvolle Sonderkulturen beschränkt.

Angesichts der Unwägbarkeiten, welche Unkräuter, Schädlinge und Krankheiten in den nächsten Jahrzehnten nach Baden-Württemberg eingeschleppt werden, einwandern und sich bei uns etablieren, muss man in diesem Bereich von einem erheblichen Bedarf an Forschung

und Entwicklung ausgehen. Notwendigkeit und mögliche Maßnahmen sind in Kap. 5.6.2 und 5.6.3 des Teils A ausführlich beschrieben. Sie umfassen:

- Schaderregerüberwachung
- Möglichkeiten der schnellen Diagnose
- Pflanzenbeschau und Quarantänemaßnahmen
- Datengewinnung zu Biologie, Epidemiologie und Populationsdynamik wichtiger Schaderreger
- Ermittlung von Befalls-Verlust-Relationen und Bekämpfungsschwellen
- Entwicklung von Prognosemodellen
- Weiterentwicklung des integrierten und biologischen Pflanzenschutzes
- Neuentwicklung von Pflanzenschutzmitteln
- Anpassung von Formulierungen und Applikationstechnik

1.8 Erfahrungen aus dem Jahr 2003

Im vergangenen sehr warmen Jahrzehnt gab es bereits einige warme und trockene Sommer (und auch Frühjahre und Frühsommer), die einen Ausblick in die künftigen Jahrzehnte erlauben. Insbesondere der Rekordsommer 2003 gab schon einen Vorgeschmack auf einen Normalsommer der Klimaprojektionen etwa im Jahr 2090. Die Ertragsrückgänge sind gut erfasst und im Exkurs im Anschluss an Kap. 4.3 (Teil A) auch in Beispielen dokumentiert. Die Aufarbeitung des Zusammenhangs zwischen Witterung 2003, Kulturen, Erträgen und Qualität wäre allerdings noch auszuweiten, um genauere Aussagen treffen zu können. Zu beachten ist auch, dass 2003 noch ein singuläres Ereignis war, die Erträge mit nicht adaptierten Sorten erzielt wurden und die CO_2-Konzentration noch nicht so hoch war, wie sie 2090 sein wird. Auswertungen für dieses Jahr können also nichts aussagen

- über langfristige Wirkungen solch trocken-heißer Jahre,
- was passiert, wenn sie häufiger auftreten oder
- über etwaige Effekte von CO_2-bedingter Düngung und Schonung des Bodenwasservorrats.

2 Ökonomische Aspekte

Ökonomische Abschätzungen oder Kosten-Nutzen-Analysen für die Zukunft wurden nicht vorgenommen. Ob bestimmte Fruchtfolgen, Düngungsmaßnahmen, Sorten oder Verfahren der Bodenbearbeitung zum Einsatz kommen, hängt schon heute davon ab, wie sie sich auf den betrieblichen Gewinn auswirken – und diese Beispiele sind vergleichsweise wenig kostenintensiv. Die wirtschaftlichen Wechselwirkungen für die Zukunft zu skizzieren ist fast unmöglich. Es ist bereits schwierig, für die nahe Zukunft die zu erwartenden Erträge

abzuschätzen. Je nach den getroffenen Annahmen zu züchterischen und wissenschaftlich-technischen Fortschritten, der CO_2-Düngewirkung und den künftigen Niederschlags-verhältnissen können Ertragsrückgänge oder Ertragssteigerungen herauskommen, wie die Ergebnisse im Rahmen der Anpassungsstrategien Nordrhein-Westfalens[1] und Sachsens[2] eindrücklich zeigen.

Eine wichtige ökonomische Stellgröße ist der Erzeugerpreis, der für landwirtschaftliche Produkte erzielt wird. In den letzten Jahren waren hier große Schwankungen zu verzeichnen. Wie wird sich der Weltmarkt entwickeln? Welche agrarpolitischen Herausforderungen werden neben dem Klimawandel wichtig (wie z.B. die Erzeugung nachwachsender Rohstoffe)? Wie werden die globalen Auswirkungen des Klimawandels auf die heimische Landwirtschaft rückwirken? Vor diesem Hintergrund die Preisentwicklung für landwirtschaftliche Produkte, benötigte Betriebsmittel oder die Energiepreise für die nächsten 30 Jahre abschätzen und womöglich mit Zahlen hinterlegen zu wollen, erscheint vermessen. Eine Trendaussage zumindest scheint möglich: Mit zunehmender Verschärfung der Auswirkungen des Klimawandels werden sich Maßnahmen wirtschaftlich darstellen, die heute betriebs-wirtschaftlich noch nicht attraktiv sind.

Möglich ist auch zu benennen, was bereits heute viel Geld kostet und auch in Zukunft kosten wird: Bewässerungsgeräte und –infrastruktur, Schutz gegen Hagel, Starkregen und Einstrahlung sowie Stall-Um- und –Neubauten. In allen Fällen sind die Investitionskosten hoch. Werden Sie allerdings nicht getätigt, droht im Fall der (ausbleibenden) Bewässerung und des Hagelschutzes im Zweifelsfall totaler Ertragsausfall mit ebenfalls hohen Verlusten oder im Falle des Viehs Leistungsminderung bis hin zu erhöhter Mortalität. Bei zunehmender Hitze, Trockenheit und Extremwetterlagen werden sich daher die Investitionen umso schneller amortisieren. Zahlen für die Zukunft zu benennen, ist allerdings ebenso schwierig, da beispielsweise die Wirtschaftlichkeit einer Bewässerung nicht nur von den Mehrerlösen für die Produkte, sondern auch von den Investitions- und Betriebskosten, einschließlich Energie- und Wasserpreis abhängt – viele Unbekannte also.

Das Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft sieht dies in seiner Anpassungsstrategie ähnlich (SMUL 2009, S. 35):

„Quantitative Angaben z. B. hinsichtlich Wirksamkeit und Kosten sind für einen Zeitraum bis 2050 nicht möglich. ... Innovationen, eine weitere Optimierung von Verfahren und gegebenen-falls auch künftige neue Förderschwerpunkte und -möglichkeiten können zu erheblichen Kostenminderungen beitragen. Eine Bewertung der künftigen Rentabilität einer Maßnahme ist

[1] MKULNV (Hrsg.) (2011): Klimawandel und Landwirtschaft - Auswirkungen der globalen Erwärmung auf die Entwicklung der Pflanzenproduktion in Nordrhein-Westfalen. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf
[2] SMUL 2009 (s. Literaturverzeichnis Teil A)

jedoch auf Grund der vielfältigen nicht abschätzbaren Einflussgrößen (z. B. künftige Entwicklung der Kosten, der Erzeugerpreise und der Beihilfehöhe) derzeit nicht möglich."

3 Kenntnisdefizite und Forschungsbedarf

Im verfügbaren Zeitrahmen war es angesichts der breit gefächerten Themenpalette nicht möglich umfassend zu erheben, wo bereits zu welcher Frage geforscht wird und welche Ergebnisse schon vorliegen. Für den Auftraggeber wurde jedoch eine Sammlung von Themen und Fragestellungen vor allem im Ackerbau erstellt und hinterlegt, bei denen der Autor den Eindruck hat, es seien gerade mit Blick auf die Praxis noch deutliche Kenntnisdefizite vorhanden. Auch aus den Beiträgen der Mitautoren zum Fachgutachten ergaben sich Hinweise auf Forschungsbedarf, der in diesen Teilbereichen wahrgenommen wird. Die Sammlung umfasst mögliche Projektansätze in den Bereichen:

- Höhere CO_2-Konzentrationen

Hier geht es hauptsächlich um die Veränderung von Qualitätsparametern bei verschiedenen Kulturen, auch bei Dauerkulturen, das Ausmaß von Sortenunterschieden in ihrer Reaktion auf höhere CO_2-Konzentrationen, die Auswirkungen auf den Bodenwasservorrat und notwendige Anpassungen der Düngung an Ertragsniveau und Qualitätsänderungen. Dabei sind nicht nur CO_2 allein, sondern auch die Interaktionen mit Hitze und Trockenheit zu untersuchen.

- Temperatur und Hitze

Themen sind z.B. die Ausweitung der Anbauzeiträume für Gartenbaukulturen, Strategien gegen hohe Temperaturen in Gewächshauskulturen oder die Optimierung der Kulturführung im geschützten Anbau. Wie kann in Obst- und Weinbau ein möglicherweise notwendiger Standortwechsel bewältigt werden? Wie verändern sich in Acker-, Garten-, Obst- und Weinbau Qualitätseigenschaften durch Hitzeperioden? Wie kann man die Kulturverfahren an Hitze und Trockenheit anpassen? Welche Auswirkungen sind von den phänologischen Veränderungen zu erwarten?

- Fruchtfolge, Sortenwahl und Bestandesführung

Wichtige Ansatzpunkte wären, Soja, Hirse und Leguminosen (v.a. auch Winterleguminosen) verstärkt in die Sortenversuche einzubeziehen. Ähnlich notwendig wird eine Anpassung des Sortenspektrums in Garten-, Obst- und Weinbau. Möglichkeiten des Zwischenfruchtanbaus (auch mit ungewohnten Arten oder Gemengen) wären ebenso auszuloten wie die Optimierung von Fruchtfolgen auf Wassereffizienz oder die ökonomische Optimierung von Fruchtfolgen auf mehr Vielfalt.

- Düngung

Wichtig wird eine Anpassung der Düngung − vor allem, aber nicht nur der Stickstoffdüngung − in Höhe, Form, Ausbringungszeitpunkt und Methodik an höhere CO_2-Konzentrationen in der Atmosphäre und zunehmende Trockenheit mit den damit verbundenen veränderten Ertragserwartungen. Das betrifft nicht nur mineralische, sondern auch organische Düngung und deren Integration in ein umfassendes Düngekonzept.

- Bodenbearbeitung und produktionsbezogener Bodenschutz

Eines der zentralen Themen ist die konservierende Bodenbearbeitung, darunter auch die Prüfung von Vor- und Nachteilen neuer Verfahren des konservierenden Ackerbaus, wie z.B. Streifenbearbeitung. Weitere Ansätze sind die Einsatzmöglichkeiten von Precision Farming in Verbindung mit neuen technischen Möglichkeiten der Bodenbearbeitung, die Bekämpfung von Nagern und Schnecken in der Direktsaat oder die Optimierung von Fruchtfolgen bei Direktsaat. Forschungsbedarf besteht weiterhin bei der Erosionsvermeidung im Freiland-Gemüsebau.

- Bewässerung

Hier sollte der aktuelle Bewässerungsbedarf in Baden-Württemberg erhoben und darauf aufbauend der künftige Bewässerungsbedarf der Landwirtschaft – auch unter Berücksichtigung des „CO_2-Wassersparеffekts“ – abgeschätzt werden. Weitere Themen sind Bewässerung und Bestandestemperatur sowie die technische und wirtschaftliche Optimierung von Bewässerungstechniken.

- Pflanzenschutz

Voraussetzung für die Ermittlung von Befalls-Verlust-Relationen und Schad- bzw. Bekämpfungsschwellen sowie die Entwicklung von Prognosemodellen ist der Erwerb umfangreichen Wissens zur Biologie, Epidemiologie und Populationsdynamik von (alten und „neuen“) Krankheitserregern, Schädlingen, Vektoren und Unkräutern. Das Monitoring bekannter und neu auftretender Unkräuter, Schädlinge, Vektoren und Krankheitserreger sollte ausgeweitet werden. Weiterhin notwendig: die Entwicklung von Schnelltests zur Beschleunigung der Diagnose und schließlich die Etablierung eines Frühwarnsystems. Zu entwickeln sind wirksame Bekämpfungsmaßnahmen für Esca, Eutypa und Feuerbrand. Die Weiterentwicklung des integrierten und biologischen Pflanzenschutzes, gerade auch für neuartige Schadorganismen, bleibt Daueraufgabe, ebenso die Weiterentwicklung von Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen.

- Boden

Wie verändern sich die Mineralisationsbedingungen im Jahreslauf mit den Faktoren CO_2, Trockenheit und Hitzeperioden einzeln und in Interaktion? Welche Auswirkungen auf das Bodenleben sind zu erwarten? Wie entwickeln sich die Humusgehalte der Ackerböden unter

diesen Voraussetzungen? Welche Auswirkungen auf Wasserschutzgebiete und Gebiete der WRRL-Kulisse sind zu erwarten? Wie wird sich die Nitratauswaschung entwickeln? Hinsichtlich Erosionsrisiko sind die räumlichen Prognosen zur Entwicklung der Regen-Erosivität der ABAG in Baden-Württemberg zu erarbeiten und laufend anzupassen. Hinsichtlich Klimaanpassung, aber auch Klimaschutz sollten wirtschaftliche Nutzungsalternativen für Anmoore / Moore entwickelt werden.

- Grünland und Viehhaltung

Hier geht es um die Prüfung neuer Grasarten und -sorten, aber auch von Leguminosen und Kräutern auf Hitze- und Trockentoleranz, Ansaattauglichkeit sowie Weidetauglichkeit. Weitere Themen sind mögliche Anpassungen in der Nutzungsintensität oder der Futterkonservierung. Möglichkeiten der Verwendung extensiver Grünlandaufwüchse (Futter, Biogas, Vergärung) wären zu erarbeiten. Wichtiges Thema ist die Verminderung der Wärmebelastung von Nutztieren. Ein Ansatzpunkt ist die Weiterentwicklung von passiven und aktiven Kühlverfahren in Ställen (auch bei Geflügel). Wenig weiß man bisher auch über die Auswirkungen von Hitze, Trockenheit und Starkniederschlägen auf Fische und Fischwirtschaft – auf Wassertemperaturen, Wasserqualität und Wasserstände.

4 Standörtliche Charakterisierung der Vergleichsgebiete

Angaben nach LEL 2012a (Literaturverzeichnis Teil A).

Vergleichsgebiet 1: Unterland/Bergstraße

Fruchtbarstes Gebiet des Landes Baden-Württemberg. Abgesehen vom Neckar-Schwemmkegel bilden Muschelkalk und Keuper den geologischen Untergrund, großteils überdeckt von einer wechselnd starken Lößdecke. Vorherrschend sind Getreide-, Körnermais- und Zuckerrübenbau. An Sonderkulturen spielen Weinbau, Obstbau, Feldgemüsebau, an der Bergstraße außerdem Tabakbau, eine Rolle.

Höhenlage 100 - 300 m
Ø Jahrestemperatur über 9 ° C
Ø Jahresniederschläge um 700 mm
Bodenklimazahl 60 - über 80
Ackeranteil 70 - 100 % der LF

Vergleichsgebiet 2: Gäulandschaften

Den geologischen Untergrund bilden Muschelkalk und Keuper, auf der Filder auch Schwarzjura. Sehr wechselnd ist die Lößdecke. Die Gebiete mit einer stärkeren Lößdecke sind weitgehend dem Vergleichsgebiet 2a "Bessere Gäulandschaften" zuzuordnen, die Gebiete mit nur geringer oder fehlender Lößdecke sowie die höheren Lagen dagegen dem Vergleichsgebiet 2b "Geringere Gäulandschaften". Im ganzen Gebiet ist der Anbau von Körnermais möglich, daneben werden Getreide, Zuckerrüben, Kartoffeln, Wein, Obst angebaut.

Höhenlage 150 - 400 m
Ø Jahrestemperatur 8 - 9 ° C
Ø Jahresniederschläge 650 - 750 mm
Bodenklimazahl: a - Bessere Gäulandschaften über 60,
b - Geringere Gäulandschaften 40 - 60
Ackeranteil 65 - 100 % der LF

Vergleichsgebiet 3: Rheinebene

Die Bodenverhältnisse wechseln sehr stark von Sand, teilweise mit Kies vermengt über alluviale Schwemmlandböden, teilweise in Form von Lehm und Ton bis zu Lößböden. Entsprechend ist das Gebiet in 3a "Bessere Rheinebene" und 3b "Geringere Rheinebene" zu unterteilen. Im Gebiet der Rheinebene ist der Ackerbau vorherrschend, sämtliche Ackerkulturen sind anzutreffen.
Erhebliche Bedeutung hat der Anbau von Sonderkulturen.

Höhenlage 100 - 300 m
Ø Jahrestemperatur 8 - 9 ° C
Ø Jahresniederschläge im Norden und Westen 550 - 700 mm
gegen Odenwald und Schwarzwald zunehmend bis 1100 mm
Bodenklimazahl: a - Bessere Rheinebene 50 – 70,
b - Geringere Rheinebene 20 - 50
Ackeranteil 70 - 80 % der LF

Vergleichsgebiet 4: Westlicher Bodensee

Den geologischen Untergrund bilden am Nordrand des Bodensees ein Molasserücken, im Übrigen Eiszeitmoränen-Böden. Das Gebiet ist körnermaisfähig. Im Übrigen wird vorwiegend Getreide angebaut, daneben Futterpflanzen, Obst und in begrenztem Umfang auch Wein.

Höhenlage 400 - 650 m
Ø Jahrestemperatur 8 - 9 ° C
Ø Jahresniederschläge 750 - 800 mm
Bodenklimazahl 40 - 60
Ackeranteil 40 - 50 % der LF

Vergleichsgebiet 5: Westschwarzwald

Den geologischen Unterbau bilden in der Hauptsache Buntsandstein, Granit und Gneis, denen flachgründigere, lehmige Sandböden aufgelagert sind. Der Ackerbau spielt mit Getreide und Kartoffeln eine untergeordnete Rolle.

Höhenlage 300 - 1000 m
Ø Jahrestemperatur über 7 ° C
Ø Jahresniederschläge 1000 - 1200 mm
Bodenklimazahl 20 - 40
Ackeranteil 20 - 40 % der LF

Vergleichsgebiet 6: Hochschwarzwald

Den geologischen Untergrund bilden mittlerer Buntsandstein, Granit und Gneis. Der Ackerbau tritt weitgehend zurück.

Höhenlage über 800 m
Ø Jahrestemperatur unter 6 ° C
Ø Jahresniederschläge 1200 - 1500 mm
Bodenklimazahl unter 20
Ackeranteil unter 20 % der LF

Vergleichsgebiet 7: Ostschwarzwald

Buntsandsteinlagen des Schwarzwaldostabhanges

Höhenlage 600 - 1000 m
Ø Jahrestemperatur 5,5 - 6,5 ° C
Ø Jahresniederschläge 800 - 950 mm
Bodenklimazahl 20 - 40
Ackeranteil 30 - 50 % der LF

Vergleichsgebiet 8: Baar

Die geologische Unterlage wechselt von Muschelkalk über Keuper zu Schwarzjura und Braunjura. Infolgedessen sind die Bodenunterschiede erheblich. Vorherrschend sind Getreide- und Futterbau.

Höhenlage 600 - 800 m
Ø Jahrestemperatur 6 - 7 ° C
Ø Jahresniederschläge 600 - 800 mm

Bodenklimazahl 20 - 40
Ackeranteil 40 - 50 % der LF

Vergleichsgebiet 9: Östlicher Bodensee

Höhenlage 400 - 600 m
Ø Jahrestemperatur 8 - 9 ° C
Ø Jahresniederschläge 800 - 1000 mm
Bodenklimazahl 40 - 50
Ackeranteil 30 - 40 % der LF

Vergleichsgebiet 10: Allgäu

Höhenlage 600 - 900 m
Ø Jahrestemperatur 6 - 7,5 ° C
Ø Jahresniederschläge 1000 - 1600 mm
Bodenklimazahl 30 - 50
Ackeranteil unter 20 % der LF

Vergleichsgebiet 11: Oberland

Höhenlage 550 - 750 m
Ø Jahrestemperatur 7 - 7,5 ° C
Ø Jahresniederschläge 700 - 800 mm
Bodenklimazahl 30 - 50
Ackeranteil 50 - 70 % der LF

Vergleichsgebiet 12: Donau-Iller

Vorherrschend sind neben alluvialen Lehm- und Tonböden anmoorige Talauen. Ackerbau ist überwiegend, wobei der Anbau von Körnermais und Zuckerrüben möglich ist.

Höhenlage 500 - 550 m
Ø Jahrestemperatur 7 - 8 ° C
Ø Jahresniederschläge 650 - 750 mm
Bodenklimazahl 40 - 60
Ackeranteil 60 - 70 % der LF

Vergleichsgebiet 13: Bessere Alb

Die vorherrschenden Weißjuraverwitterungsböden sind zum Teil tiefgründig und erlauben einen intensiven Ackerbau.

Höhenlage 550 - 800 m
Ø Jahrestemperatur 7 ° C
Ø Jahresniederschläge 650 - 800 mm
Bodenklimazahl 30 - 50
Schwerpunkt 40 - 50
Ackeranteil 50 - 70 % der LF

Vergleichsgebiet 14: Geringere Alb

Die Weißjuraverwitterungsböden sind überwiegend flachgründig und sehr wasserdurchlässig. Ackerfrüchte sind Getreide und Futterpflanzen.

Höhenlage 750-900 m
Ø Jahrestemperatur 6 - 7 ° C
Ø Jahresniederschläge 700 - 1100 mm
Bodenklimazahl 20 - 40
Ackeranteil 40 - 55 % der LF

Vergleichsgebiet 15: Heuberg

Infolge der starken Durchlässigkeit des Bodens ist der Ackeranteil trotz der hohen Niederschläge noch beachtlich, wenn auch stark schwankend. Ackerfrüchte sind Getreide und Futterpflanzen.

Höhenlage 800 - 1000 m
Ø Jahrestemperatur unter 6 ° C
Ø Jahresniederschläge 800 - 1000 mm
Bodenklimazahl
z.T. auch höher 20 - 30
Ackeranteil 30 - 50 % der LF

Vergleichsgebiet 16: Westliches Albvorland

Braunjuragebiet. Der Grünlandanteil überwiegt. Auf dem Acker werden vorwiegend Getreide und Futterpflanzen angebaut.

Höhenlage 450 - 700 m
Ø Jahrestemperatur 6 - 7,5 ° C
Ø Jahresniederschläge 750 - 1000 mm
Bodenklimazahl 20 - 40
Ackeranteil 30 - 40 % der LF

Vergleichsgebiet 17: Neckar-Nagold-Gebiet und nördliche Schwarzwaldrandplatte

Die Muschelkalk- und Keuperlagen zwischen Schwarzwald und Schwäbischer Alb, im Süden begrenzt durch die Baar sowie das Gebiet der nördlichen Schwarzwaldrandplatte, bestehend aus Buntsandstein, z.T. von Löß überlagert. Vorherrschend sind Getreide und Futterbau.

Höhenlage 500 - 700 m
Ø Jahrestemperatur 7 - 8 ° C
Ø Jahresniederschläge 700 - 800 mm
Bodenklimazahl 30 - 50
Ackeranteil 50 - 70 % der LF

Vergleichsgebiet 18: Östliches Albvorland

Die geologische Unterlage bilden Schwarz- und Braunjura, am Nordrand auch Keuper, das Gebiet ist teilweise stark gewellt. In den günstigen Lagen ist Körnermaisanbau möglich. Ansonsten herrschen Getreide- und Futteranbau vor.

Höhenlage 400 - 600 m
Ø Jahrestemperatur 7 - 8 ° C
Ø Jahresniederschläge 750 - 900 mm
Bodenklimazahl 40 - 60
Ackeranteil 40 - 50 % der LF

Vergleichsgebiet 19: Schwäbischer Wald/Odenwald

Keuper als geologische Grundlage im Schwäbischen Wald und Buntsandstein im Odenwald. Vorherrschend sind Futter- und Getreidebau.

Höhenlage Schwäbischer Wald 400 - 550 m, Odenwald 450 - 600 m
Ø Jahrestemperatur 6,5 - 7,5 ° C
Ø Jahresniederschläge 800 - 1000 mm
Bodenklimazahl Schwäbischer Wald 20 – 40, Odenwald 30 - 45
Ackeranteil 30 - 50 % der LF

Vergleichsgebiet 20: Hohenlohe

Die Bodenverhältnisse sind gekennzeichnet durch Muschelkalk im Untergrund, der in den Tälern von Kocher und Jagst und deren Seitentäler zutage tritt. Auf den Höhen ist der Muschelkalk durch Keuper überdeckt. Gipskeuper und Lettenkeuper bilden schwere Böden, doch überwiegt im Ganzen der Ackerbau. Vorwiegend angebaut werden Getreide und Futterpflanzen. In günstigen Lagen, vor allem des Kochertals, auch Obst und Wein.

Höhenlage 350 - 500 m
Ø Jahrestemperatur 7 - 8 ° C
Ø Jahresniederschläge 650 - 750 mm
Bodenklimazahl 30 - 50
Ackeranteil 50 - 60 % der LF

Vergleichsgebiet 21: Bauland, Odenwaldrand und Taubergebiet

Vorherrschende geologische Unterlage bildet der Muschelkalk, lediglich gegen das Jagsttal und im Gebiet des Ahornwaldes tritt Keuper auf. Teilweise findet sich auch eine Lößauflage. Je nach Bodenart, insbesondere Steinbeimengung, ist die natürliche Ertragslage sehr verschieden. So lässt sich das Gebiet in "21a Besseres" und "21b Geringeres" Bauland differenzieren. In den besseren Lagen werden Zuckerrüben gebaut, der Anbau von Körnermais ist nur in den südlichen Randlagen sowie im Neckar-, Main- und Taubergebiet möglich. Im Übrigen spielen Getreide- und Futterbau die Hauptrolle.

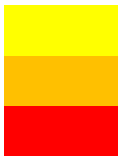
Höhenlage 150 - 450 m
Ø Jahrestemperatur 7 - 8 ° C
Ø Jahresniederschläge im Westen 800 mm, im Osten 600 mm
Bodenklimazahl: a - Besseres Bauland über 40,
b - Geringeres Bauland unter 40
Ackeranteil 90 % der LF

5 Alternativen zur Bewertung der Vulnerabilität gegenüber Trockenheit

Im Gutachten wurde für die Bewertung der Vulnerabilität gegenüber Trockenheit die Summe der Klimatischen Wasserbilanz der Monate Mai bis September (Vegetationsperiode) einer Vergleichsgebietsgruppe in einer Matrix mit der über das jeweilige VGG gemittelten nutzbaren Feldkapazität (nFK) verknüpft (Teil A, Tab. 4-7, Tab. 4-8). Eine andere, von Forstwissenschaftlern gelegentlich angewandte Methode[3] zur Charakterisierung der Trockenstressanfälligkeit von Standorten ist die Addition von nFK und KWB (beide in mm). Diese Methode wird im Folgenden zu Vergleichszwecken dargestellt.

Bewertungsmatrix Vulnerabilität:

> 250 mm	gering
100-250 mm	mittel
< 100 mm	hoch



VGG-Nr.	Bezeichnung	**Mittl. nFK Böden**	**p50.0**	**p50.0 nah**	**p50.0 fern**	**p15.0 nah**	**p15.0 fern**
1	Unterland/Gäue	180	273	255	221	164	82
2	Rhein/Bodensee	140	300	276	221	165	75
3	Schwarzwald	90	418	389	311	264	161
4	Alb/Baar	80	271	245	203	148	66
5	Allgäu	140	462	411	340	329	215
6	Oberland/Donau	140	321	301	242	188	113
7	Albvorland/ Schwäb. Wald	100	248	233	190	128	52
8	Bauland/ Hohenlohe	115	203	189	164	88	11

Bei dieser Summenmethode wird vorausgesetzt, dass die Böden in die Vegetationsperiode mit 100% Auffüllung ihrer nFK starten und sie ausgenutzt werden kann. Die Matrixlösung mit dem

[3] z.B. Spellmann et al. (2011): Waldbauliche Anpassungsstrategien für veränderte Klimaverhältnisse. AFZ 11/2011, 19-23

Ansatz, die Vulnerabilität über die Veränderung der klimatischen Wasserbilanz gegenüber dem Istzustand zu definieren, umgeht diese Schwierigkeit. Die Verfügbarkeit von Grundwasser wird bei beiden Methoden nicht berücksichtigt. Da man annehmen kann, dass sich die Grundwasserstände im Jahresdurchschnitt künftig nicht wesentlich ändern (weniger Niederschläge im Sommer, dafür mehr im Winter), wurde davon Abstand genommen, die Flächenanteile grundwasserbeeinflusster Böden zu erfassen und zum Beispiel mit der bodenkundlichen Feuchtestufe statt der nutzbaren Feldkapazität in der Matrix zu arbeiten. Die Ermittlung und Flächengewichtung der bodenkundlichen Feuchtestufe[4] für die VGG ist aufwändig und wurde daher im Rahmen dieses Gutachtens nicht durchgeführt. Der Ressort-Arbeitskreis beschloss auch angesichts des ohnehin hohen Aggregierungsgrads, der Matrix-Lösung nFK/KWB den Vorzug zu geben.

Zum Vergleich die gewählte Bewertungsmatrix (Teil A, Tab. 4-8):

KWB Mai-September p50 (Ist)	nFK-Boden	Reduzierung KWB Mai-September um:			
		20 - 50 mm	50 - 100 mm	100 - 200 mm	>200 mm
>250 mm	>=140 mm	gering	gering	gering	gering
	70 - 140 mm	gering	gering	gering	gering
	<=70 mm	gering	gering	gering	mittel
200 - 250 mm	>=140 mm	gering	gering	gering	gering
	70 - 140 mm	gering	gering	gering	mittel
	<=70 mm	gering	gering	mittel	hoch
150 - 200 mm	>=140 mm	gering	gering	gering	mittel
	70 - 140 mm	gering	gering	mittel	hoch
	<=70 mm	gering	mittel	hoch	hoch
100 - 150 mm	>=140 mm	gering	gering	mittel	hoch
	70 - 140 mm	gering	mittel	hoch	hoch
	<=70 mm	mittel	hoch	hoch	hoch
50 - 100 mm	>=140 mm	gering	mittel	hoch	hoch
	70 - 140 mm	mittel	hoch	hoch	hoch
	<=70 mm	hoch	hoch	hoch	hoch

Wenn man sich das Ergebnis beider Bewertungen im direkten Vergleich anschaut, so zeigen sich einerseits Unterschiede: In der Matrix wird die Verringerung der KWB im 15. Perzentil „nahe Zukunft“ der KWB-Modellierungen für die VGG Unterland/Gäue und Albvorland/Schwäb. Wald höher bewertet. Die Summenmethode weist im 15. Perzentil „ferne Zukunft“ auch die Region Rhein/Bodensee als „hoch vulnerabel“ aus. Viele andere VGG werden als „mittel vulnerabel“ bewertet, die bei der Matrixmethode noch als „gering vulnerabel“ gelten. Andererseits werden mit beiden Methoden die verwundbaren Regionen klar erkannt.

[4] Ad-hoc-AG Boden der Staatlichen Geologischen Dienste und der BGR: Verknüpfungsregel 4.14: Ermittlung der bodenkundlichen Feuchtestufe.
LUBW (Hrsg.) (2010): Bewertung von Böden nach ihrer Leistungsfähigkeit. Leitfaden für Planungen und Gestattungsverfahren. Bodenschutz 23, LUBW Karlsruhe

KWB + nFK Summe

VGG-Nr.	Bezeichnung	Mittl. nFK Böden	p50.0_nahe	p50.0_fern	p15.0_nahe	p15.0_fern
1	Unterland/Gäue	180				
2	Rhein/Bodensee	140				
3	Schwarzwald	90				
4	Alb/Baar	80				
5	Allgäu	140				
6	Oberland/Donau	140				
7	Albvorland/ Schwäb. Wald	100				
8	Bauland/ Hohenlohe	115				

KWB-nFK-Matrix (im Gutachten ausgewählt)

VGG-Nr.	Bezeichnung	Mittl. nFK Böden	p50.0_nahe	p50.0_fern	p15.0_nahe	p15.0_fern
1	Unterland/Gäue	180				
2	Rhein/Bodensee	140				
3	Schwarzwald	90				
4	Alb/Baar	80				
5	Allgäu	140				
6	Oberland/Donau	140				
7	Albvorland/ Schwäb. Wald	100				
8	Bauland/ Hohenlohe	115				

In den regionalen Klimaprojektionen (LUBW 2012) wird für die Berechnung mancher Klimakennwerte die Zeit von Mai bis September als Vegetationsperiode definiert. Diese Periode liegt der Bewertungsmatrix der Vulnerabilität gegen Trockenheit auch zu Grunde. Bei der Berechnung der Klimatischen Wasserbilanz und anderer hydrologischer Kennwerte wird in der Literatur oft die Periode von Mai bis Oktober benutzt. Um mögliche Veränderungen in der Bewertung durch die Wahl dieser erweiterten Periode abzuschätzen, wurden die Monatswerte der KWB für Oktober in die Summenbildung integriert. Allerdings musste die Bewertungsmatrix an die veränderte Niederschlagsmenge adaptiert werden[5].

[5] Für den dargestellten Vorschlag danke ich Dr. Frank Waldmann, Regierungspräsidium Freiburg.

Alternative Bewertung mit nFK-KWB-Matrix für die Monate Mai bis Oktober (Ergebnis exemplarisch für das 50. Perzentil):

KWB Mai-Oktober p50-Ist	nFK-Boden	Reduzierung KWB Mai-Oktober um		
		20 - 50 mm	50 - 100 mm	>100 mm
>300 mm	>=140 mm	gering	gering	gering
	70 - 140 mm	gering	gering	gering
	<=70 mm	gering	gering	gering
250 - 300 mm	>=140 mm	gering	gering	gering
	70 - 140 mm	gering	gering	gering
	<=70 mm	gering	gering	mittel
200 - 250 mm	>=140 mm	gering	gering	gering
	70 - 140 mm	gering	gering	mittel
	<=70 mm	gering	mittel	hoch
150 - 200 mm	>=140 mm	gering	gering	mittel
	70 - 140 mm	gering	mittel	hoch
	<=70 mm	mittel	hoch	hoch
100 - 150 mm	>=140 mm	gering	mittel	hoch
	70 - 140 mm	mittel	hoch	hoch
	<=70 mm	hoch	hoch	hoch

VGG-Nr.	Bezeichnung	Zunahme Trockenstress	
		p50 nah	p50 fern
1	Unterland/Gäue		
2	Rhein/Bodensee		
3	Schwarzwald		
4	Alb/Baar		
5	Allgäu		
6	Oberland/Donau		
7	Albvorland/ Schwäb. Wald		
8	Bauland/ Hohenlohe		

Auch mit verlängerter Bezugsperiode kristallisiert sich die VGG Bauland/Hohenlohe als vulnerabelste Region heraus; die VGG Unterland/Gäue und Alb/Baar sind noch mittel vulnerabel.

6 Aufteilung der Vulnerabilitätsbewertung Bodenerosion

Die Ergebnisse der Vulnerabilitätsbewertung für Bodenerosion wurden aus dem Gutachten für das Handlungsfeld Boden (Billen und Stahr 2013) übernommen. Die regionale Abgrenzung nach Landschaftsökologischen Regionen (LÖR) stimmt für einige, aber nicht alle LÖR mit den VGG der Landwirtschaft einigermaßen überein. Für die Gebiete mit größeren Abweichungen wurden grob die Flächenanteile der betroffenen LÖR in den VGG abgeschätzt und der Bewertungsbalken der Graphiken entsprechend aufgeteilt (Teil A, Abb. 4-27 bis 4.30). Für die Gesamtbewertung hat das Vorgehen kaum Einfluss (nur p50 nahe Zukunft, VGG 1 Unterland/ Gäue) und erscheint angesichts des ohnehin hohen Aggregierungsgrads vertretbar. Die Aufteilung der Flächenanteile wurde wie folgt vorgenommen:

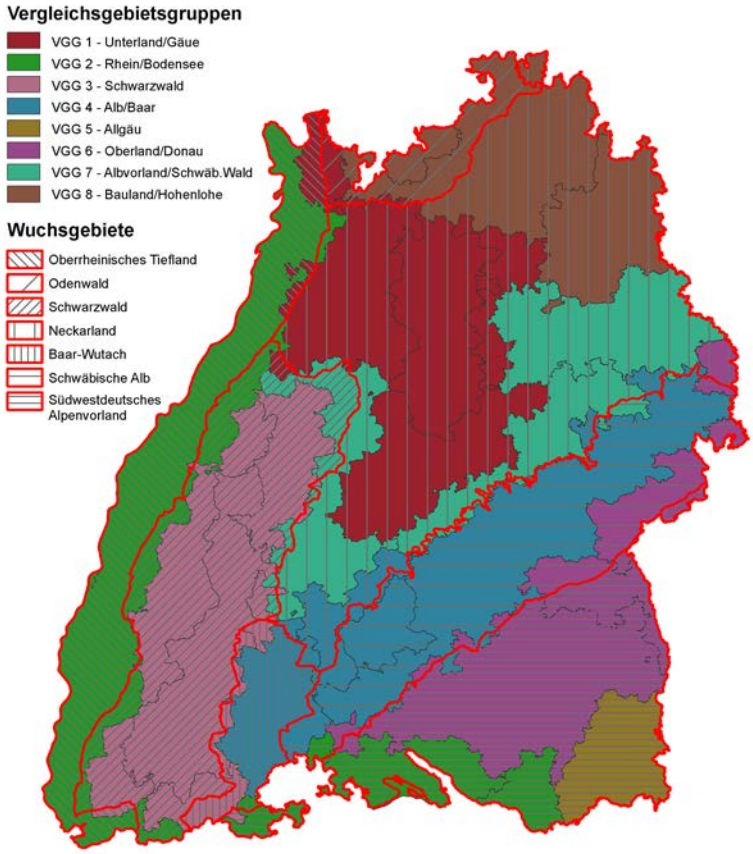
VGG	LÖR
Schwarzwald	Schwarzwald
Bauland/Hohenlohe	Bauland/Hohenlohe
Alb/Baar	Schwäb. Alb
Albvorland/Schwäb. Wald	Schwäb. Keuper-Lias-Land (Teilmenge)

Für die restlichen LÖR-VGG-Kombinationen wurde in Absprache mit dem Gutachter des Handlungsfelds Boden und der Leiterin des Ressort-AK Boden folgende Aufteilung gewählt:

VGG	LÖR
Rhein/Bodensee	$^2/_3$ Oberrhein. Tiefland + Hochrhein, $^1/_3$ voralpines Hügel- und Moorland
Allgäu	½ Donau-Iller-Lech-Platte, ½ voralpines Hügel- und Moorland
Oberland/Donau	$^1/_3$ Donau-Iller-Lech-Pl., $^1/_3$ voralpines H.- u. Moorland, $^1/_3$ Schwäb. Alb
Unterland/Gäue	½ Unterland/Gäue (andere Abgrenzung), ½ Schwäb. Keuper-Lias-Land

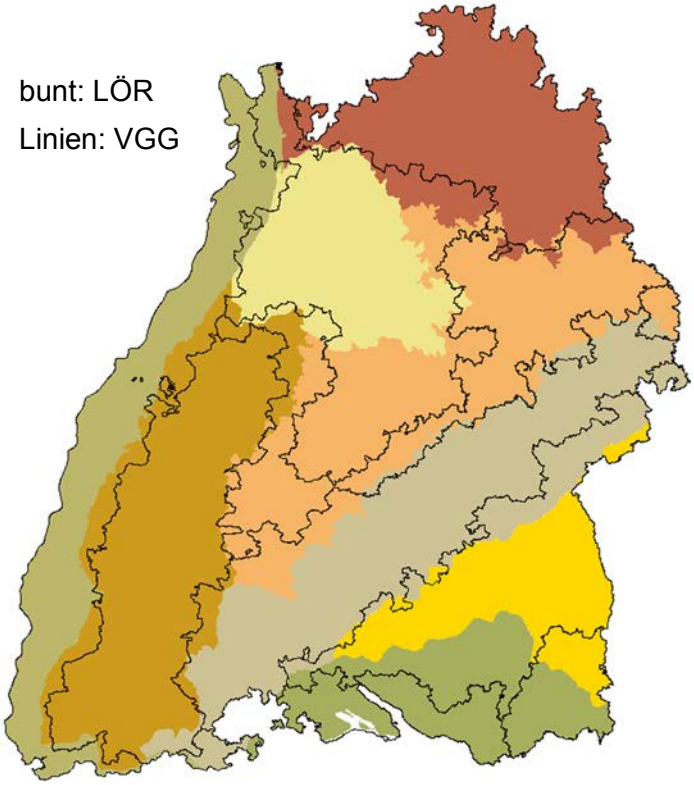
7 Vergleich der Gebietsabgrenzungen zur Regionalisierung der Vulnerabilitätsbewertung

Vergleich der landwirtschaftlichen Vergleichsgebietsgruppen (VGG) (farblich abgegrenzt) mit den forstlichen Wuchsgebieten (Schraffuren) des Handlungsfelds Wald und Forstwirtschaft



Vergleich der landwirtschaftlichen Vergleichsgebietsgruppen (VGG) (schwarze Linien) mit den Landschaftsökologischen Regionen (farblich abgegrenzt) des Handlungsfelds Boden. Karte: N. Billen

bunt: LÖR
Linien: VGG



8 Beispiele für zusätzlich erstellte Karten

Für Vergleichs- und Bewertungszwecke wurden auf Basis der Geodaten und Klimakennwerte der LUBW von Herrn Hartwig, LTZ Augustenberg, Karten erstellt. Es liegen für Baden-Württemberg vor:

Anzahl der Tropentage:
25x25 km-Raster: Monatliche Darstellungen für Mai, Juni, Juli und August
p50 Ist, p50 nah und fern, p85 nah und fern

Anzahl der Tropentage:
7x7 km-Raster: Monatliche Darstellungen für Mai, Juni, Juli und August
p50 Ist, p50 nah, p85 nah

Tagesmaximumtemperatur:
25x25 km-Raster: Monatliche Darstellungen für Mai, Juni, Juli und August
p50 Ist, p50 nah und fern, p85 nah und fern

Tagesmaximumtemperatur:
7x7 km-Raster: Monatliche Darstellungen für Mai, Juni, Juli und August
p50 Ist, p50 nah, p85 nah

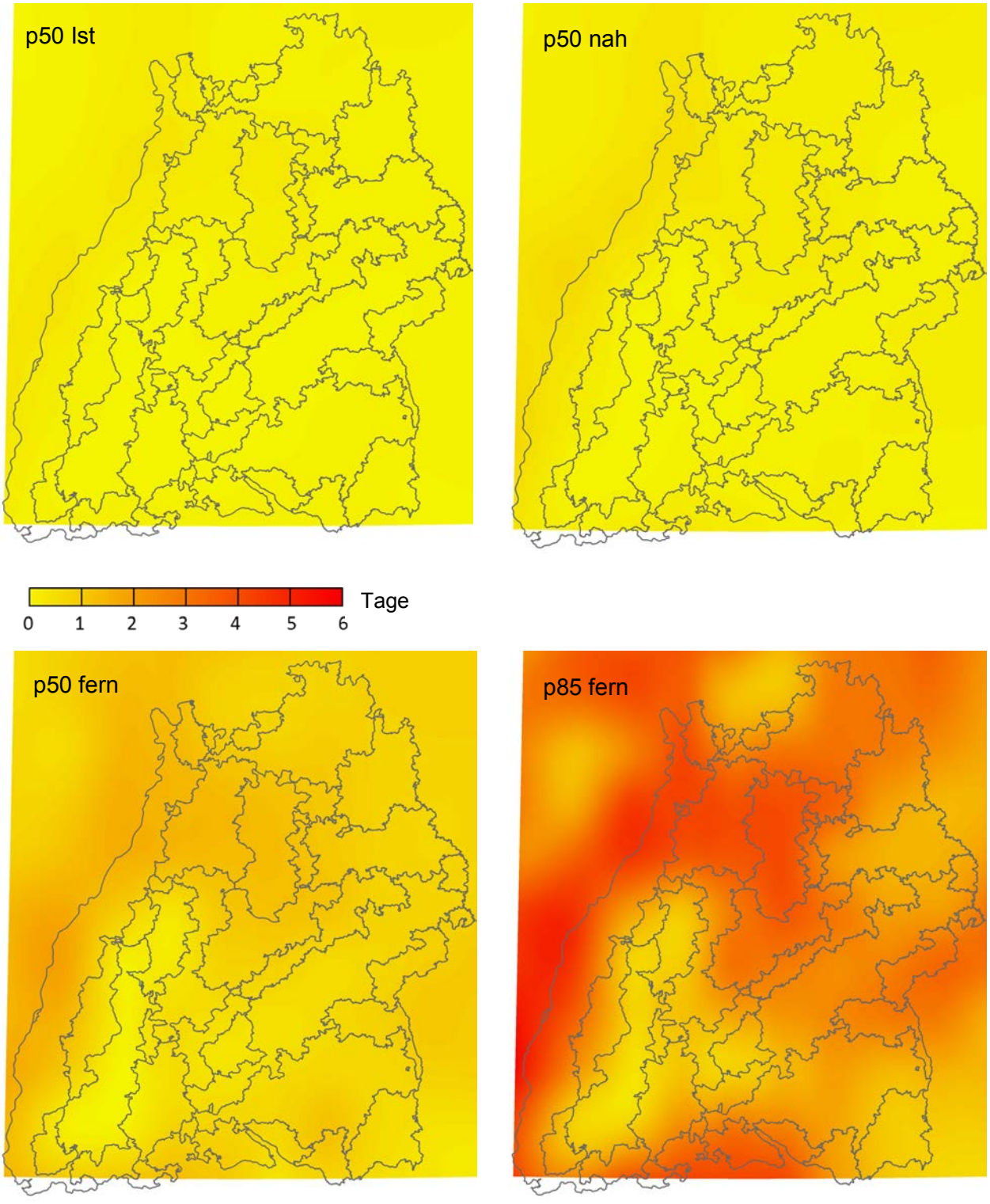
Klimatische Wasserbilanz:
25x25 km-Raster: Monatliche Darstellungen für Mai, Juni, Juli und August
Summe der KWB Mai-September
p50 Ist, p50 nah und fern, p15 nah und fern

Klimatische Wasserbilanz:
7x7 km-Raster: Monatliche Darstellungen für Mai, Juni, Juli und August
p50 Ist, p50 nah, p15 nah

Wachstumsgradtage
25x25 km-Raster: Jahresdarstellung
p50 Ist, p50 nah und fern, p85 nah und fern

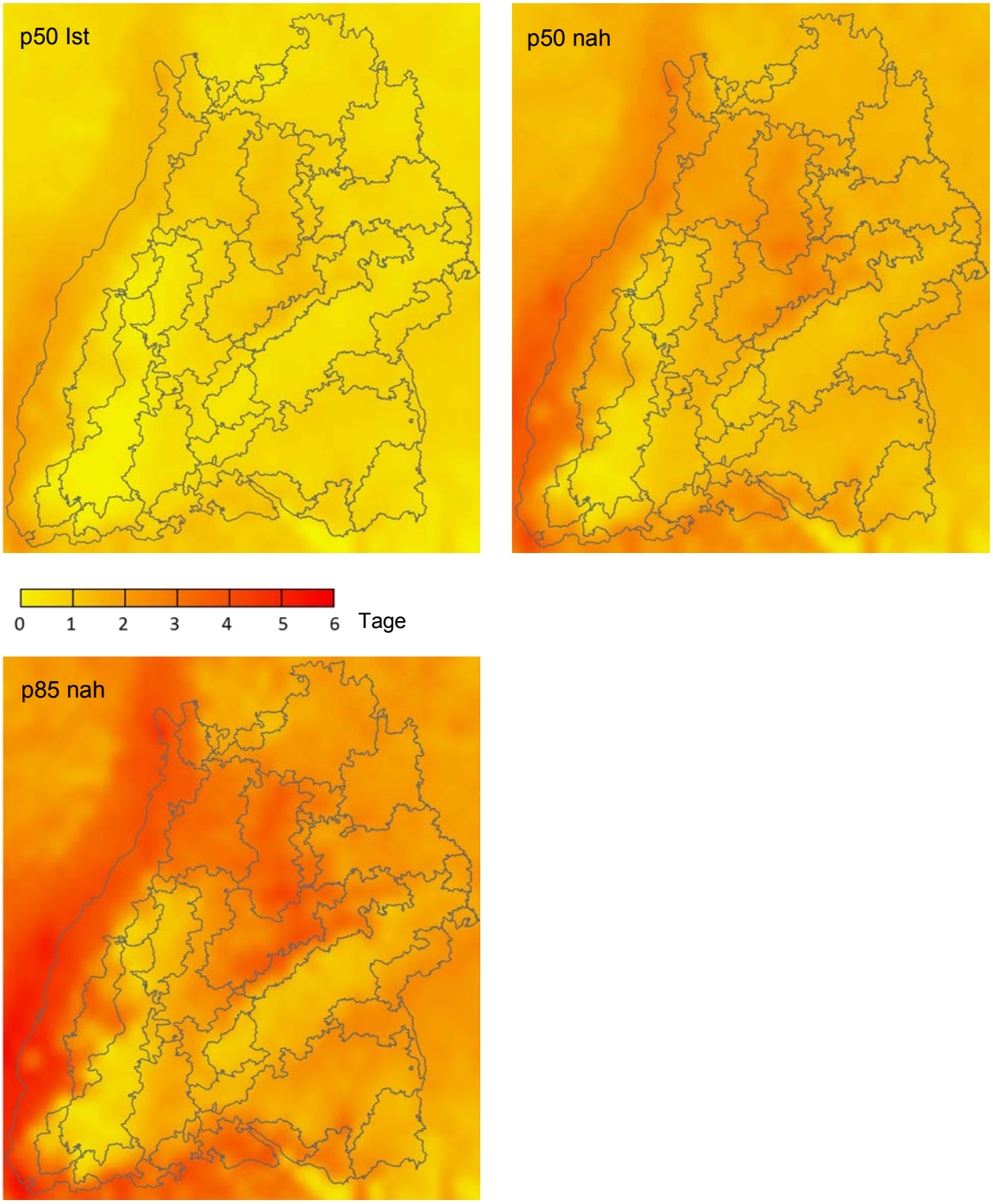
Die Karten werden auf der Daten-CD zur Verfügung gestellt. Es folgen ein paar Beispiele der Karten, die aus Platzgründen nicht im Gutachten verwendet wurden.

Tropentage im Mai (25x25 km-Raster)

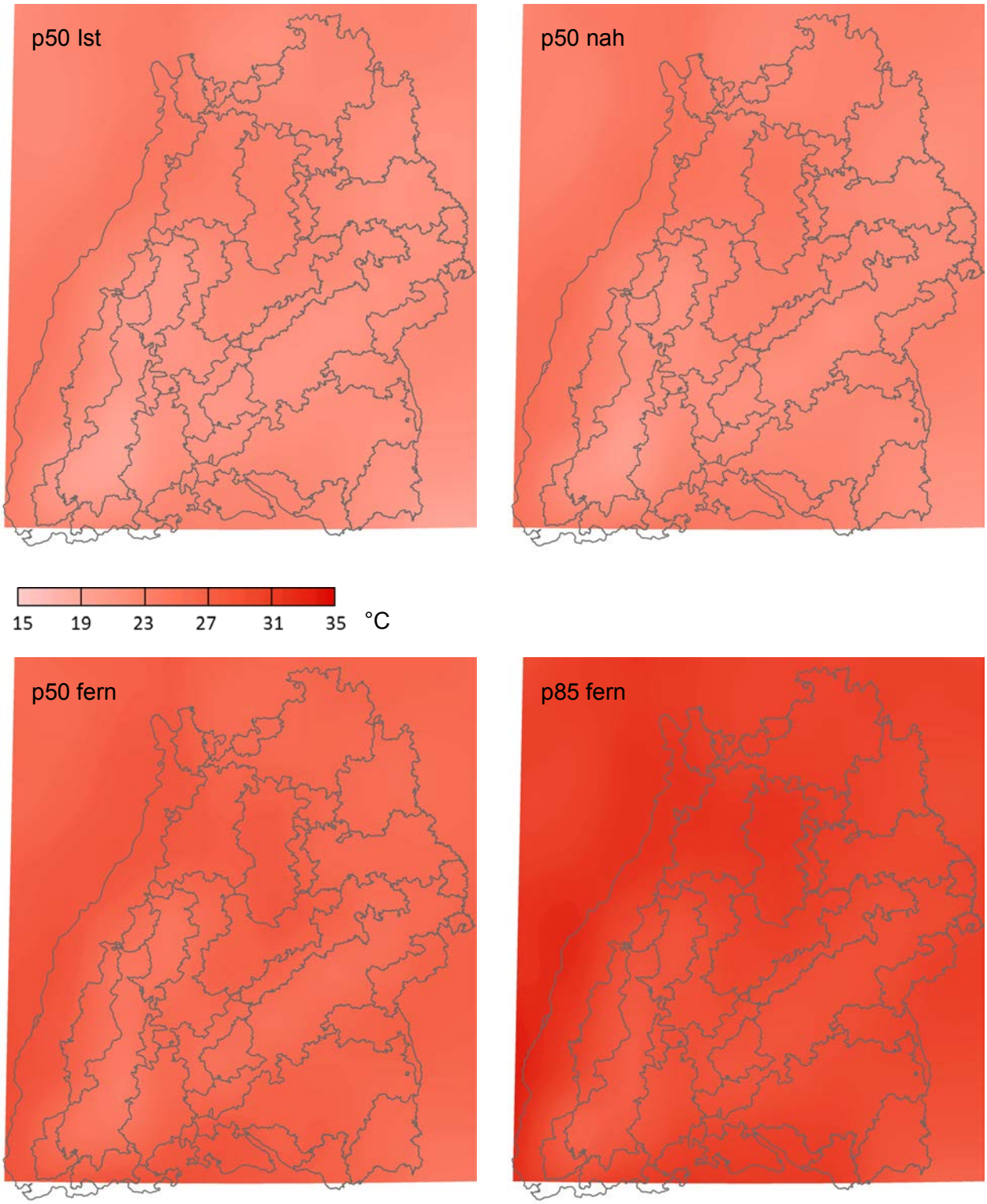


Als Heißer Tag oder Tropentag wird ein Tag definiert, an dem das Temperaturmaximum größer oder gleich 30 °C ist.

Tropentage im August (7x7 km-Raster)

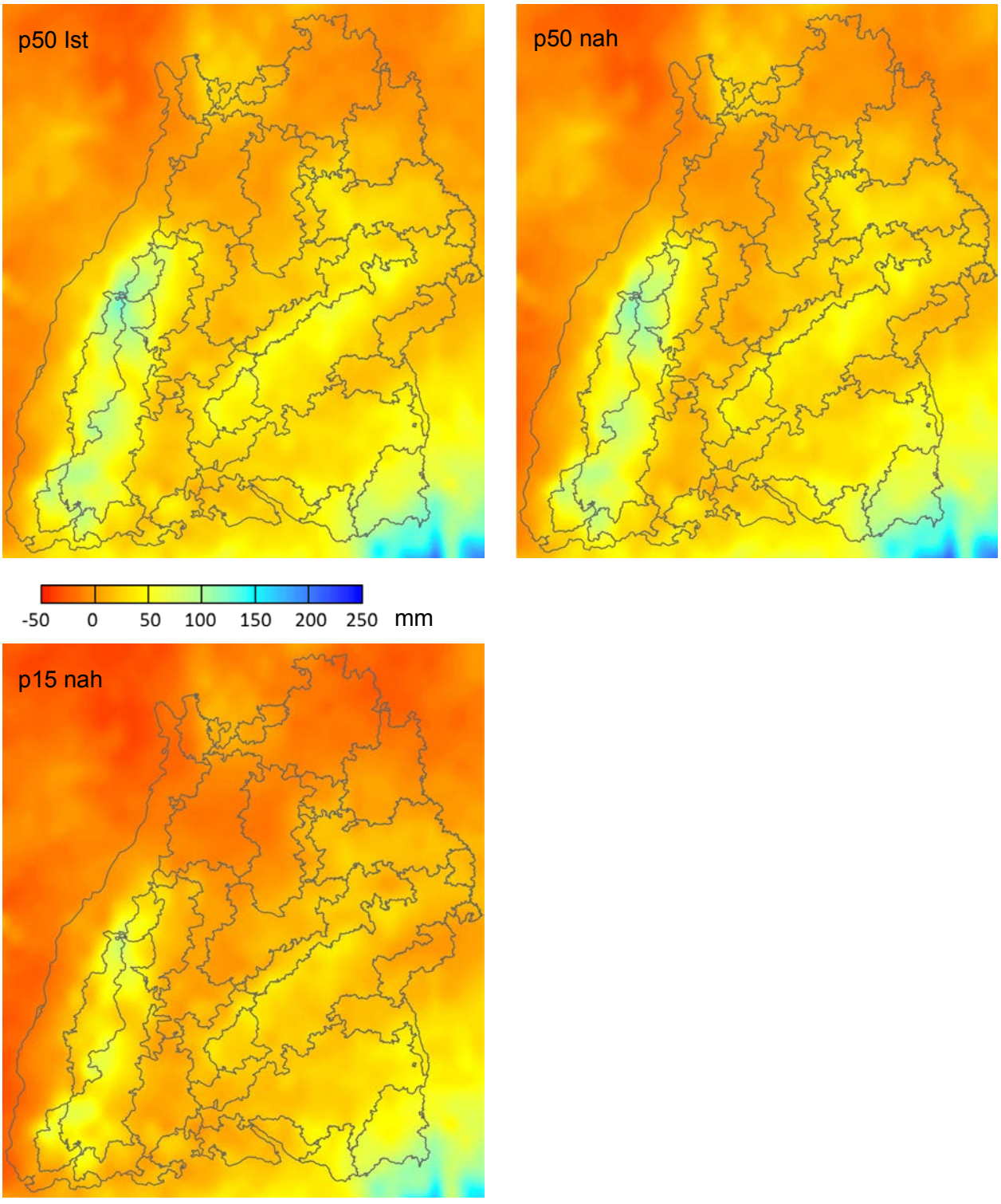


Mittlere Tagesmaximum-Temperaturen im Juli (25x25 km-Raster)



Das Tagesmaximum der Temperatur [°C] beschreibt das arithmetische Mittel aller Tagesmaximum-Temperaturen im betrachteten Zeitbereich.

Mittlere Klimatische Wasserbilanz für Juni (7x7 km-Raster)



Die klimatische Wasserbilanz berechnet sich aus der Differenz von Niederschlag und potenzieller Verdunstung [mm]. Für die Berechnung der potenziellen Verdunstung wird die Formel nach Penman auf Tagesbasis verwendet.